

Treball de Fi de Grau

Enginyeria en Tecnologies Industrials

Desenvolupament d'un simulador per l'estudi i aprenentatge de models de gestió d'estocs

MEMÒRIA

Autor: Maria del Mar Vico Rios
Director: Iñaki Gras
Convocatòria: Juny 2020



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

L'objectiu del present TFG és desenvolupar una eina que serveixi a estudiants de grau i màsters d'àmbits de gestió d'operacions a millorar els seus coneixements i comprensió d'alguns models bàsics de gestió d'estocs. S'ha pretès crear una eina interactiva que permeti l'esmentat aprenentatge. S'han abordat models bàsics de gestió tant de punt de comanda com d'aprovisionament periòdic.

En la primera fase del projecte, es fa una introducció a la gestió d'estocs, descrivint els models de Harris-Wilson i el de demanda aleatòria. També s'introdueixen conceptes com els diferents tipus de demanda estudiats i els diferents costos existents per a la gestió d'estocs.

En la segona fase del projecte, consisteix en la presentació del producte estudiat i la política d'inventaris seguida per al proveïment de matèries per tal de poder satisfer la demanda. L'objectiu principal d'aquesta fase és l'elecció i descripció d'un problema que permeti desenvolupar una pràctica de gestió d'estocs.

En la tercera fase del projecte s'han creat unes taules per la simulació d'entrades de dades on l'alumne fàcilment pot realitzar simulacions per tal de crear situacions límit d'una manera senzilla. L'eina s'encarrega de calcular els costos derivats de les decisions preses per tal que l'alumne només hagi de decidir les ordres de comanda i així aprendre com preveure-les a la vida real. S'han realitzat dos blocs de jocs de proves per comprovar la correcta funcionalitat de l'eina.

Per últim, a través d'aquest estudi s'ha conclòs que els objectius de realitzar una eina mitjançant programació en VBA comprensible i fàcil d'utilitzar per part de l'usuari s'ha aconseguit. S'ha estudiat la viabilitat del projecte a partir dels objectius de desenvolupar una eina rendible i que sigui respectuosa amb el medi ambient. S'ha conclòs per tant, que l'eina és viable.

Sumari

Contingut

| | |
|--|----------|
| Sumari | 4 |
| 1. Glossari | 6 |
| 2. Prefaci | 7 |
| 2.1. Origen del projecte | 7 |
| 2.2. Motivació | 7 |
| 2.3. Requeriments previs | 8 |
| 3. Introducció | 9 |
| 3.1. Abast del projecte | 9 |
| 3.2. Objectius del projecte | 9 |
| 4. Gestió d'estocs | 10 |
| 4.1. Característiques dels elements de estocs | 10 |
| 4.2. Aprovisionament | 11 |
| 4.2.1. Model de Harris-Wilson | 12 |
| 4.3. Inventari | 15 |
| 4.4. Tipus de demanda | 16 |
| 4.5. Costos | 17 |
| 5. Producte i política d'inventaris | 18 |
| 5.1 Demanda homogènia | 19 |
| 5.2 Demanda aleatòria | 20 |
| 6. Programació en Visual Basic | 22 |
| 7. Estructura del programa. Programació i look & feel. Taules mestres i paràmetres a controlar | |

| | |
|---|----|
| | 24 |
| 7.1. Perfil dels usuaris | 24 |
| 7.2. Anàlisi funcional del programa i Look and feel | 25 |
| 8. Experiència computacional. Jocs de dades..... | 36 |
| 8.1. Demanda homogènia en furgoneta | 36 |
| 8.1.1. Ordre de 35 caixes | 37 |
| 8.1.2. Ordre de 45 caixes..... | 40 |
| 8.1.3. Ordre de 55 caixes..... | 42 |
| 8.1. Demanda homogènia en camió..... | 45 |
| 8.2.1. Ordre de 600 caixes | 46 |
| 8.2.2. Ordre de 700 caixes | 49 |
| 8.2.3. Ordre de 800 caixes | 51 |
| 9. Anàlisi econòmic | 55 |
| 10. Ergonomia i anàlisi mediambiental..... | 57 |
| 10.1. Ergonomia..... | 57 |
| 10.2. Anàlisi mediambiental | 58 |
| Conclusions | 59 |
| Agraïments..... | 60 |
| Bibliografia | 61 |
| Referències bibliogràfiques | 61 |

1. Glossari

C_A : Cost d'adquisició: Cost associat de la compra o producció dels articles. S'expressa en u.m. (unitats monetàries) per unitat de producte.

C_L : Cost de llançament: Cost associat a la preparació d'una ordre de fabricació o compra. S'expressa en u.m. per cada llançament o comanda.

C_S : Cost de possessió: Cost associat a la conservació dels articles de l'inventari durant un cert període de temps. S'expressa en u.m. per unitat de comanda i unitat de temps.

C_D : Cost de ruptura: Cost associat a no poder satisfer la demanda. S'expressa en u.m. per cada ruptura.

Criteri SMART: Els objectius han de complir els criteris següents: específic, mesurable, assolible, rellevant i acotat en el temps.

Demanda homogènia: Demanda amb un valor estàtic conegut.

Demanda aleatòria: Demanda que segueix una distribució estadística j , com per exemple la llei normal.

Model d'aprovisionament periòdic: Basat en controlar el nivell d'estoc emetent comandes en intervals de temps fixes variant la quantitat ordenada.

Model de Harris-Wilson/ aprovisionament per punt de comanda: Consisteix a controlar de forma continua el nivell d'estoc i realitzar una comanda quan l'estoc disminueix fins a un cert nivell d'estoc anomenat punt de comanda.

VBA: Visual Basic. Llenguatge de programació.

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

La inspiració per realitzar aquest projecte va sorgir a partir de l'encàrrec del departament d'Organització d'Empreses de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. L'objectiu és realitzar una eina que serveixi per a una de les sessions pràctiques que es realitzen dins de l'assignatura d'Organització i Gestió impartida dins del Grau en Tecnologies Industrials.

Es veu que des del departament en general els alumnes no acaben de distingir bé les diferències entre els models d'aprovisionament estudiats. Després d'una sessió teòrica, s'ha observat que per assentar els conceptes teòrics ajuda molt als alumnes poder portar-los a la pràctica i veure com afecten els diferents casos teòrics estudiats.

2.2. Motivació

La principal motivació per realitzar aquest projecte ve donada pel desig d'ampliar els coneixements en la gestió d'estocs, ja que és una part important de l'Organització Industrial.

Segons l'article d'Actualidad Empresa, la gestió d'estocs és una peça clau en el món empresarial, ja que l'existència d'estoc comporta un cost elevat per a les empreses. Per un costat, s'intenta tenir la quantitat d'estoc més gran possible per poder atendre qualsevol de les demandes dels clients. D'altra banda, intentar mantenir la menor quantitat d'estoc possible per minimitzar l'enorme cost que comporta. Aquest sistema permet reduir els costos optimitzant l'estoc segons les necessitats existents en cada cas.

Atès a què la gestió d'estocs és una part fonamental en la indústria, s'ha volgut crear una eina que ajudés a l'alumnat a entendre millor els conceptes i poder veure mitjançant la simulació els efectes que tindrien les seves decisions. En conjunt, sembla una eina molt interessant que pot servir d'ajuda.

Per al desenvolupament d'aquesta eina ha estat imprescindible el fet de tenir un alt nivell en la utilització del programa Microsoft Excel. S'ha necessitat l'estudi profund del llenguatge de programació en VBA per a la creació de les macros, indispensable pel funcionament de l'eina. Per tal d'aconseguir-ho, s'ha creat un programa informàtic en Excel a partir de la programació en VBA (Visual Basic) que ajuda a modelar els paràmetres d'entrada, computar els resultats i mostrar-los en taules i gràfics.

Així doncs, s'ha pogut desenvolupar el document en un programa de fàcil utilització per part de l'usuari que permet executar l'eina en qualsevol ordinador.

2.3. Requeriments previs

Per a poder realitzar l'eina de simulació, ha estat necessari tenir coneixements previs sobre gestió d'estocs, adquirits a partir de l'assignatura d'Organització i Gestió impartida en el Grau de Tecnologies Industrials. També ha estat necessari el coneixement previ de llenguatge de programació en Python adquirit a l'assignatura d'Informàtica, un llenguatge amb força similituds a l'utilitzat, el llenguatge VBA.

També ha estat necessari el coneixement de les assignatures de Gestió de Projectes per a saber com estructurar adequadament el projecte realitzat i l'assignatura d'Economia i Empresa.

3. Introducció

3.1. Abast del projecte

Per poder cobrir els objectius de la millor manera possible, s'ha estructurat el projecte en quatre grans blocs i annexos exposats a continuació:

- **Gestió d'estocs:** Part teòrica introductòria a la gestió d'estocs on es descriuen els models emprats en el desenvolupament de l'eina de simulació d'aquest projecte.
- **Producte i política d'inventaris:** Explicació del producte estudiat i la política d'inventaris seguida per al proveïment de matèries per tal de poder satisfer la demanda.
- **Funcionament del programa:** Explicació detallada de les instruccions d'ús del programa desenvolupat de cara als usuaris i de les macros dissenyades per a cada funció del programa.
- **Viabilitat del projecte:** Estudi de la viabilitat econòmica, mediambiental i ergonòmica del projecte.

3.2. Objectius del projecte

Els objectius del projecte són fonamentals per materialitzar una idea, per tant han d'estar ben definits segons el criteri SMART.

Tal com s'ha dit anteriorment en la motivació, el projecte pretén ajudar a la comprensió en la gestió d'estocs a estudiants de grau i màster de l'àmbit de la gestió d'operacions.

Per poder aconseguir-ho, s'ha decidit marcar-se els objectius següents:

- Revisió dels models d'estocs estudiats al Grau d'Organització i Gestió
- Elecció i descripció d'un problema que permeti desenvolupar una pràctica de gestió d'estocs
- Adquirir experiència en la presa de decisions sense assumir els riscos de situacions reals
- Redacció de l'enunciat
- Disseny funcional d'un programa informàtic que permeti fer les pràctiques de l'assignatura
- Programació fent servir VBA en Excel
- Realització de jocs de prova
- Anàlisi econòmic i mediambiental

4. Gestió d'estocs

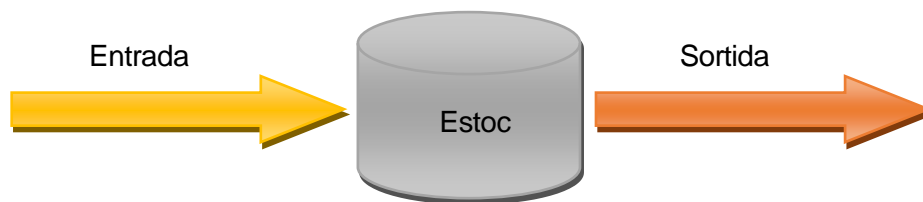
Un estoc és una reserva o existència no empleada que ocupen un espai i posseeix valor econòmic. Aquestes existències tenen forma de matèria primera, producte acabat o producte semielaborat i pot estar determinat pel seu volum, pes o unitats.

La gestió d'estocs o control d'inventaris és la disciplina dins de la Direcció d'Operacions que s'encarrega de determinar quan, quant i com s'ha d'adquirir, enviar o comprar.

La gestió d'estocs està lligada a la utilització de recursos en un futur, per tant, està lligada al concepte de previsió. Aquesta previsió és important pel fet que funciona com a salvaguarda en cas que aparegui algun imprevist o hi hagi algun error en la previsió realitzada.

4.1. Característiques dels elements de estocs

Els estocs es poden representar mitjançant un sistema d'entrades i sortides com el representat a continuació.



Il·lustració 1: Esquema representació sistema d'estoc

Per determinar com controlar l'estoc, tenim en compte les entrades i les sortides del sistema. Pel que fa a les entrades, es té en compte el termini d'entrega de les comandes realitzades per augmentar el nivell d'estoc disponible. Aquest termini d'entrega pot ser constant o variable segons l'acord amb l'empresa proveïdora del material. La quantitat de producte sol·licitat dependrà del cost de fer la comanda i del cost de possessió per emmagatzemar dit producte. En alguns models dependrà també del cost d'adquisició.

La sortida ve determinada per la demanda, que pot estar definida segons si és:

- Continua / Intermitent: La unitat de la demanda pot variar segons l'entorn i la presentació de l'article en concret.
- Determinista / Aleatòria: Hi ha casos en què la demanda futura és perfectament coneguda, d'altres, els seus valors són aleatoris.
- Homogènia / No homogènia: La demanda és homogènia si el seu valor és constant en el temps.

En el cas en què les sortides siguin superiors a les entrades, es produirà una ruptura d'estoc. Aquesta ruptura pot ser de dos tipus:

- Demanda perduda: on la demanda no espera i es perd
- Demanda diferida: La demanda accepta esperar i es difereix

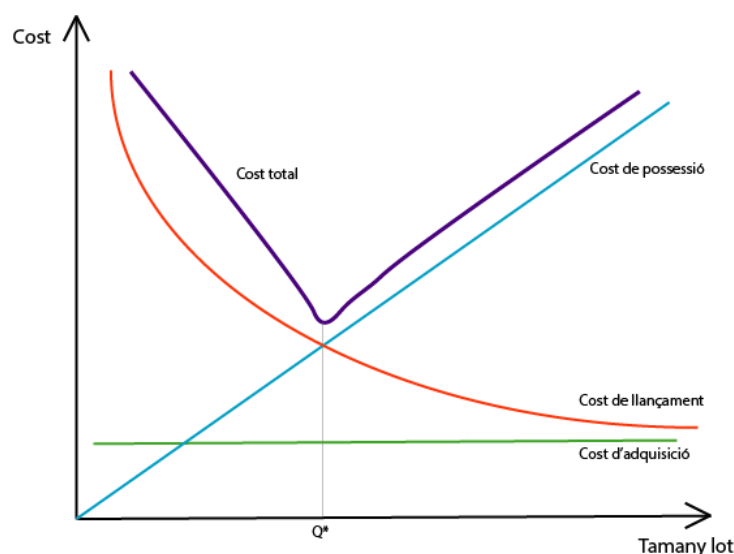
4.2. Aprovisionament

Per poder realitzar un correcte aprovisionament, es necessita saber quan i quant comprar o fabricar. No és el mateix aprovisionar per un producte amb demanda baixa que un amb una demanda alta. Tampoc ho és els productes amb data de caducitat curta que llarga. Per tant, s'ha d'establir mecanismes de control que permetin controlar els nivells d'estoc.

La mida de lot o lot és la quantitat que produeix una etapa d'una cadena de subministrament o compra en un instant de temps.

Per trobar la grandària de lot òptim, tenim en compte els costos associats de manera que es minimitza el cost total. Per calcular aquest cost total, es té en compte el cost d'adquisició, el cost de llançament i el cost de possessió. A més, en alguns models de gestió d'estocs més desenvolupats, caldrà tenir en compte també els costos de demanda diferida i els costos de demanda perduda.

Es pot observar com el cost de possessió és directament proporcional a la mida de lot. El cost d'adquisició, en canvi, és independent de la quantitat que escollim. D'altra banda, el cost de llançament disminueix quan la mida de lot augmenta, per tant és inversament proporcional. A partir de les tendències dels costos esmentats, es troba la corba del cost total, amb la qual a partir del seu punt mínim, es troba la mida de lot òptim.



Il·lustració 2: Efecte de la mida de lot al cost

Existeixen dos sistemes bàsics de reaprovisionament, el sistema de punt de comanda i el sistema d'aprovisionament periòdic.

4.2.1. Model de Harris-Wilson

Aquest model segueix les següents hipòtesis:

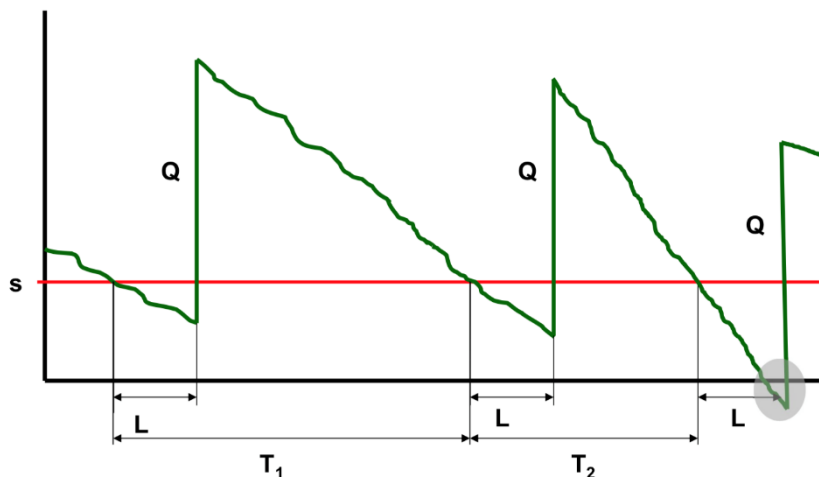
1. L'horitzó que afecta la gestió dels estocs és il·limitat, és a dir, el procés es prolonga indefinidament.
2. La demanda és coneguda, continua i homogènia en el temps.
3. El termini d'entrega (L) és constant i conegut.
4. No s'accepten ruptures d'estoc
5. El cost d'adquisició (C_A) és constant i no depèn de la grandària de lot.
6. L'entrada del lot és instantània i en bloc.
7. El cost de llançament (C_L) per comanda i el cost de possessió (C_S) per unitat són coneguts i constants.

A continuació es defineixen els dos tipus d'aprovisionament que segueixen el model de Harris-Wilson:

- Aprovisionament per punt de comanda
- Aprovisionament periòdic

Model per punt de comanda

El sistema de **punt de comanda**, consisteix a controlar de forma contínua el nivell d'estoc i realitzar una comanda quan l'estoc disminueix fins a un nivell anomenat punt de comanda. Aquest tipus de reaprovisionament no segueix una periodicitat fixada, donat que depèn de la demanda existent. Aquest cas és un cas molt particular del model de Harris-Wilson.



Il·lustració 3: Gràfic gestió per punt de comanda. Font: Departament d'Organització i gestió (ETSEIB)
-Tema 4 Gestió d'estocs (2018)

En aquest tipus de sistema, la mida de lot per punt de comanda (Q) s'obté a partir de buscar el mínim de funció de costos a partir de la seva derivada respecte a la Q. A partir de l'equació (1), els articles sol·licitats són els mateixos en totes les comandes i es calcula com:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot CL \cdot D}{CS}}$$

Equació 1: Mida de lot per punt de comanda

Per realitzar aquest càlcul, es té en compte el cost de llançament, la demanda i el cost de possessió.

El valor de s correspon al punt de comanda. Quan l'inventari arriba a aquest punt, es realitza una comanda de Q unitats per restaurar l'inventari. Aquest valor es calcula a partir de l'equació següent:

$$s = L \cdot D$$

Equació 2: Punt de comanda

Per realitzar aquest càlcul es té en compte el termini de lliurament i la demanda. El termini de lliurament és el temps que triga l'article a arribar des que es fa la comanda fins que està disponible. En cas de tenir una incertesa respecte al lliurament o al comportament de la demanda, al punt de comanda se li pot afegir un estoc de seguretat (ss).

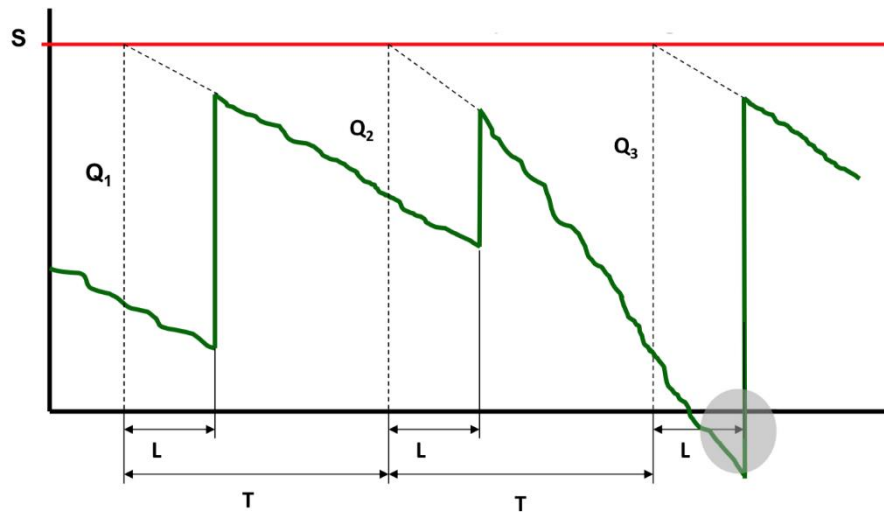
La freqüència de reaprovisionament N, amb unitats comandes/any, es calcula com:

$$N = \frac{1}{T} = \frac{D}{Q}$$

Equació 3: Freqüència de reaprovisionament

Model d'aprovisionament periòdic

El sistema d'**aprovisionament periòdic** es basa a controlar el nivell d'estoc i realitzar l'emissió de comandes en intervals de temps fixes, variant únicament la quantitat en cadascun. Aquesta quantitat serà la necessària fins a arribar al nivell de referència prefixat.



Il·lustració 4: Gràfic gestió per aprovisionament periòdic. Font: Departament d'Organització i gestió (ETSEIB) -Tema 4 Gestió d'estocs (2018)

Per calcular la quantitat del lot que es demanarà, es calcula a partir de la següent equació:

$$Q = S - \text{Inventari actual}$$

Equació 4: Mida de lot per aprovisionament periòdic

On la S es calcula a partir de l'equació següent:

$$S = D \cdot (L \cdot T + R) + ss$$

Equació 5: Punt de comanda

Per realitzar aquest càlcul es té en compte la demanda, el termini d'entrega, el temps entre comandes, el termini de reaprovisionament i l'estoc de seguretat.

Si la demanda segueix una llei Normal. L'estoc de seguretat es calcula a partir de l'equació següent:

$$ss = k \cdot \sigma L$$

Equació 6: Estoc de seguretat

El paràmetre k es pot estimar com z_α , on α és un valor en la taula $N(0,1)$ segons la proporció de cicles amb ruptura o probabilitat de ruptura de cicle.

4.3. Inventari

L'inventari o estoc és un recurs emmagatzemat al qual es recorre per satisfer necessitats actuals o futures. D'aquesta manera, és imprescindible conèixer la disponibilitat de cada producte.

L'estoc de seguretat és l'estoc que es té disponible per poder pal·liar imprevistos en l'aprovisionament o en la demanda, però és un estoc que no es vol haver d'accedir. La necessitat d'usar aquest estoc implica un error en la previsió. És important tenir inventaris, ja que pot haver-hi variabilitat en la demanda i es necessiti un estoc que la pugui cobrir en qualsevol instant de temps.

Es treballa amb dos tipus d'inventari diferenciats:

- Inventari físic: L'inventari que està al magatzem disponible per necessitats actuals.
- Inventari pendent d'arribar: L'inventari del qual s'ha realitzat una ordre i encara no ha arribat. Serveix per satisfer necessitats futures. Des que es demana fins que està disponible passa un temps L , que en el cas que s'estudia s'ha fixat en 4 dies.

És important que l'inventari físic no sigui molt elevat, donat que comporta un cost addicional. Tanmateix, no es pot dependre únicament de l'inventari pendent de rebre per tal d'evitar caure en ruptura d'estoc, que també comporta un cost extra.

La possessió d'inventaris comporta una sèrie d'avantatges i inconvenients. Alguns dels avantatges dels estocs són:

- Protegeixen contra la incertesa de la demanda, en la producció i en l'aprovisionament.
- Permeten tenir una disponibilitat immediata de productes en el cas que sorgeixi una demanda que s'hagi de servir ràpidament.
- En el cas en què el preu de matèries primeres o productes semielaborats necessaris per a la producció tinguin un preu variable, permet abaratir costos.
- Permeten fer front a variacions de demanda o aprovisionament fabricant avanç que sorgeixi un pic de demanda estacional.

Altrament, la possessió d'inventari comporta una sèrie d'inconvenients com:

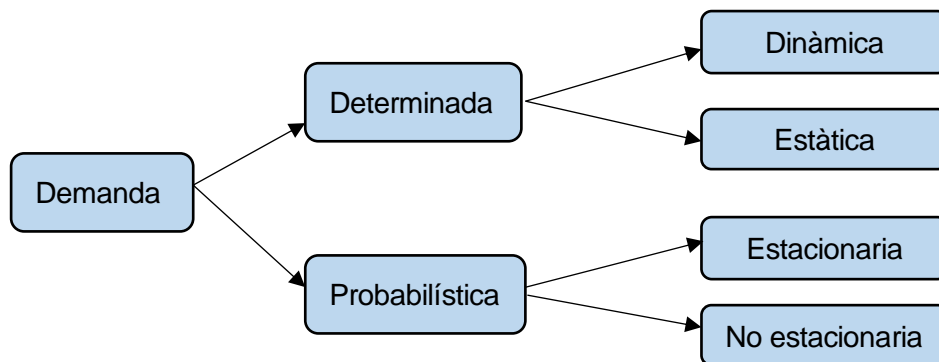
- Cost per la possessió d'aquests inventaris és degut a la utilització de l'espai, necessitat de personal per a la protecció d'aquests, etc.
- Risc d'una possible obsolescència dels productes en estoc, encarint el producte final.
- Risc de caducitat o deteriorament del producte.
- Risc d'incendi o robatoris del producte emmagatzemat.

4.4. Tipus de demanda

La demanda és la quantitat de productes que el client sol·licita d'un determinat bé de l'empresa. És una de les característiques de la gestió d'estocs més importants. S'expressa en unitats d'articles/any.

Hi ha dos tipus de demanda possibles, la demanda determinada i la demanda probabilística. En el primer cas, la demanda determinada pot ser dinàmica o estàtica (homogènia). En el cas que sigui estàtica, aquesta demanda no varia temporalment i es coneix perfectament el valor en tot moment. D'altra banda, si apareix una demanda dinàmica, el valor de la demanda varia amb el temps, però es coneix com varia en tot moment.

Apareixen també dos tipus de demanda probabilística. El primer, la demanda probabilística estacionària, és el tipus de demanda que segueix una distribució de probabilitats coneguda o estimada a partir de dades històriques. Les distribucions de probabilitats més usades són la distribució uniforme, la distribució normal i la distribució de Poisson entre d'altres. La demanda probabilística no estacionària, és aleatòria en el temps, amb canvis continus tant en la distribució com en el creixement.



Il·lustració 5: Esquema tipus de demanda

El cas que s'ha estudiat, se centra en l'estudi de les següents demandes diferents:

- Demanda homogènia: És una demanda estàtica de valor constant conegut.
- Demanda aleatòria: Segueix una distribució normal de mitjana μ i desviació tipus σ .

4.5. Costos

En la gestió d'estocs apareixen els tipus de costos associats següents:

Cost d'adquisició: C_A

És el cost que es deriva de la compra o producció dels articles. Si els articles estan comprats fora de l'empresa, correspondrà al cost de compra d'aquests. En el cas del reaprovisionament intern, correspon al cost de producció. Té unitats de u.m./article.

Cost de possessió: C_S

És el cost associat a la conservació dels articles de l'inventari durant un cert període de temps. Té unitats de u.m./ article·any

Cost de llançament: C_L

És el cost associat a realitzar l'inventari i al cost de preparar el llançament d'una ordre de fabricació o compra. En el cas de la fabricació del producte en l'empresa, també comporta el cost de preparació de les màquines, així com el cost lligat a la realització de controls de qualitat. En el cas estudiat correspon al cost des que el producte surt del magatzem fins que arriba al client. Té unitats de u.m./llançament.

El cost de transport de la mercaderia també es considera com un cost de llançament. En el problema estudiat, segons el nivell de demanda, hi ha dos tipus de transport:

- Furgoneta: Si la demanda és inferior o igual a un nombre determinat de caixes. En utilitzar aquest tipus de transport el cost de llançament és menor, però també és menor la capacitat.
- Camió: Si la demanda és superior a un nombre determinat de caixes. Aquest tipus de transport té més capacitat, conseqüentment té un cost de llançament major.

Cost de ruptura: C_D o C_R

És el cost associat a no poder satisfer la demanda. Aquest cost depèn del producte, del proveïdor i del client. S'expressa en unitats de €/article. Pot haver-hi dos tipus de cost de ruptura: el cost de demanda diferida o el cost de demanda perduda.

- Cost de demanda diferida: És el cost en què degut a no poder satisfer la demanda en l'actualitat però el client accepta rebre la seva comanda més tard.
- Cost de demanda perduda: És el cost que té per l'empresa el no poder satisfer la demanda del client quan aquest no accepta rebre la seva comanda amb posterioritat i prefereix buscar un altre proveïdor.

5. Producte i política d'inventaris

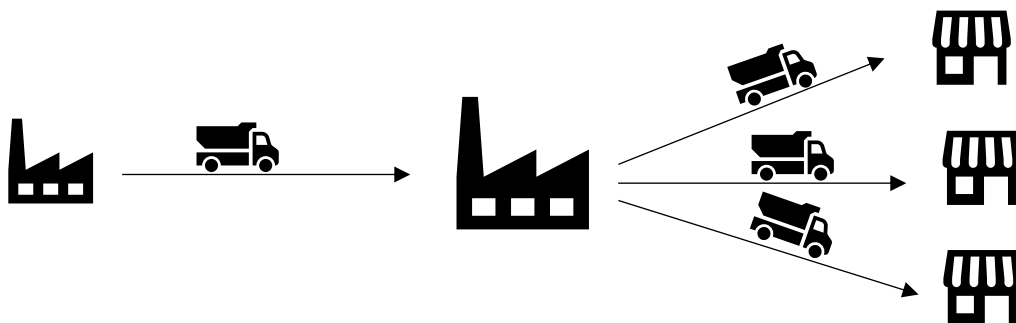
L'empresa ZEUS Perfumeria S.A. elabora la marca de colònia Amunet a la seva fàbrica de Barcelona. Es realitza un control d'estocs de productes semielaborats tals per poder satisfer la demanda amb el mínim cost possible.

Es parteix de la premissa que l'estoc de colònia sempre és suficient per a cobrir tota la demanda. S'estudiarà només les necessitats d'estoc d'envasos per tal de simplificar la gestió del producte.



Il·lustració 6: Imatge colònia Amunet

Per a la preparació del producte, ZEUS Perfumeria compra els envasos a una empresa subministradora per després omplir-los amb la colònia elaborada a la fàbrica. Finalment, un cop envasat i empaquetat, el departament de distribució ho envia a les perfumeries de tot el país.



Il·lustració 7: Diagrama de la distribució del producte

L'empresa ha decidit que l'usuari s'encarregui de dissenyar una política d'inventaris per tal de reduir els costos del procés des del proveïment de matèries fins al subministrament al client final. Gràcies al programa de simulació desenvolupat, l'usuari podrà veure per cada dia de simulació la demanda generada que haurà de satisfer amb l'estoc existent.

El problema està dividit en 2 subcasos:

- Demanda homogènia
- Demanda aleatòria

5.1 Demanda homogènia

A partir del cost d'adquisició C_A , el cost de llançament C_L , el cost de possessió C_S , el cost de ruptura d'estoc C_D i el **cost d'emmagatzematge extra** determinats a l'enunciat escollit pel professor. Es decideix realitzar un estudi d'aprovisionament segons el model indicat.

Per a realitzar el transport, es pot escollir entre dues opcions: l'ús de furgoneta o l'ús de camió. El cas del transport en furgoneta té una capacitat de **500** caixes amb un cost de **60 €** per llançament. L'ús del camió ve determinat per una capacitat de **2000** caixes amb un cost de **230 €** per llançament. En últim terme, s'introdueix el valor de l'**estoc inicial**.

El magatzem té una capacitat de **1000 caixes** amb un cost d'emmagatzematge extra de **2 €/dia**.

La demanda diària correspon als valors de l'històric de demanda segons el valor de demanda de **D caixes/dia**. Aquest exercici no permet ruptura d'estoc.

Si les existències actuals no són suficients per poder proveir als clients, es podrà servir més tard un cop es tinguin existències però amb un cost afegit pel retard (C_D) generat. La simulació dura fins a un màxim de 28 dies (4 setmanes), on cada dia segueix la seqüència següent:

1. S'indica l'inventari inicial del dia
2. Apareix la demanda segons l'històric de demanda creat anteriorment a partir dels paràmetres característics determinats per l'enunciat.
3. S'intenta satisfer la demanda amb l'inventari actual
 - a. Si la demanda és inferior a l'inventari existent, se satisfà amb aquest
 - b. Si la demanda és superior a l'inventari inicial, cau en una falta d'estoc
4. Arriba una nova ordre amb existències sol·licitades anteriorment (*)
5. S'actualitza el valor d'inventari disponible al final del dia
6. Es realitza una nova ordre de comanda

(*) Un cop realitzada una nova ordre al final de cada dia, el material es rebrà al final del dia $D+4$ i estarà disponible per satisfer la demanda el dia $D+5$. Depenent de la quantitat demandada la comanda s'entregarà amb furgoneta o amb camió, com s'ha detallat anteriorment.

Al final de cada jornada es reporten els costos generats per l'adquisició d'estoc, els costos de llançament, el cost generat per tenir falta d'estoc i els costos de possessió per mantenir dit estoc. D'aquesta manera es genera un cost total generat pels costos parcials i el cost acumulat fins al dia anterior. Finalment es calcula un cost mitjà diari segons el cost total generat i el nombre de dies simulats.

Tenint en compte el que s'ha après a classe, definir una política d'inventaris senzilla d'implementar a partir de les simulacions realitzades. Raonar les dades i càlculs obtinguts.

5.2 Demanda aleatòria

A partir del cost d'adquisició C_A , el cost de llançament C_L , el cost de possessió C_S , el cost de ruptura d'estoc C_D i el **cost d'emmagatzematge extra** determinats a l'enunciat escollit pel professor. Es decideix realitzar un estudi d'aprovisionament segons el model indicat.

Per a realitzar el transport, es pot escollir entre dues opcions: l'ús de furgoneta o l'ús de camió. El cas del transport en furgoneta té una capacitat de **500** caixes amb un cost de **60€** per llançament. L'ús del camió ve determinat per una capacitat de **2000** caixes amb un cost de **230 €** per llançament. En últim terme, s'introdueix el valor de l'**estoc inicial**.

El magatzem té una capacitat de **1000 caixes** amb un cost d'emmagatzematge extra de **2 €/dia**.

La demanda diària correspon als valors de l'històric de demanda segons el valor de demanda de **D caixes/dia**. Aquest exercici si permet ruptura d'estoc.

Si les existències actuals no són suficients per poder proveir als clients, es podrà servir més tard un cop es tinguin existències però amb un cost afegit pel retard (C_D) generat. La simulació dura fins a un màxim de 28 dies (4 setmanes), on cada dia segueix la seqüència següent:

1. S'indica l'inventari inicial del dia
2. Apareix la demanda segons l'històric de demanda creat anteriorment a partir dels paràmetres característics determinats per l'enunciat.
3. S'intenta satisfer la demanda amb l'inventari actual
 - a. Si la demanda és inferior a l'inventari existent, se satisfà amb aquest
 - b. Si la demanda és superior a l'inventari inicial, cau en una falta d'estoc
4. Arriba una nova ordre amb existències sol·licitades anteriorment (*)
5. S'actualitza el valor d'inventari disponible al final del dia
6. Es realitza una nova ordre de comanda

(*) Un cop realitzada una nova ordre al final de cada dia, el material es rebrà al final del dia $D+4$ i estarà disponible per satisfer la demanda el dia $D+5$. Depenent de la quantitat demandada la comanda s'entregarà amb furgoneta o amb camió, com s'ha detallat anteriorment.

Al final de cada jornada es reporten els costos generats per l'adquisició d'estoc, els costos de llançament, el cost generat per tenir falta d'estoc i els costos de possessió per mantenir dit estoc. D'aquesta manera es genera un cost total generat pels costos parcials i el cost acumulat fins al dia anterior. Finalment es calcula un cost mitjà diari segons el cost total generat i el nombre de dies simulats.

Tenint en compte el que s'ha après a classe, definir una política d'inventaris senzilla d'implementar a partir de les simulacions realitzades. Raonar les dades i càlculs obtinguts.

6. Programació en Visual Basic

Visual Basic és un llenguatge de programació desenvolupat per Microsoft. Aquest llenguatge és un dialecte de BASIC, un llenguatge de programació d'alt nivell, que pot ser tant interpretat com compilat, no estructurat i de fàcil aprenentatge.

En Microsoft existeix un únic entorn de desenvolupament: el Microsoft Visual Basic x.0, corresponent a les versions des de la 2.0 fins a la 20.0. En el cas realitzat en aquest treball, s'ha utilitzat la versió 7.3, corresponent a Microsoft Office 16.

Avantatges de la programació en VBA:

- Corba d'aprenentatge molt ràpida
- Integra el disseny i la implementació de formularis de Windows
- Permet utilitzar la plataforma dels sistemes de Windows, ja que té accés pràcticament a totes les API de Windows, incloses les llibreries actuals.
- És un llenguatge molt utilitzat, pel que facilita la troba d'informació, documentació i fonts pels projectes.
- Pot estendre's fàcilment mitjançant llibreries DLL i components ActiveX d'altres llenguatges.
- Permet l'addició de suports per l'execució d'scripts, VBScript o JScript, mitjançant Microsoft Script Control.
- Té accés a la API multimèdia de DirectX.
- Les aplicacions de Microsoft Office integren una versió de VBA tant en el cas de Windows com en Mac.
- Permet el desenvolupament d'aplicacions grans i complexes, així com petits prototips ràpids i senzills.

Desavantatges de la programació en VBA:

- El suport pobre per a la programació orientada a objectes.
- Problemes en el versionat associat a les llibreries runtime DLL.
- Incapacitat per crear aplicacions multi-hilo sense utilitzar les API de Windows.
- Dependència de entrades complexes i fràgils de registre COM.
- La utilització de controls en un únic formulari és molt limitada en comparació a altres eines de programació.

S'ha escollit, per tant, la utilització de programació en VBA, ja que s'ha buscat un entorn per treballar de manera flexible, sense programació especial i que porti part gràfica sent un programa molt comú, conegut i utilitzat per tothom com és el Microsoft Excel.

No s'han considerat altres eines de programació perquè el llenguatge que utilitza el VBA és molt similar a l'estudiat al grau d'Ingeriria en Technologies Industrials a l'assignatura d'Informàtica on s'aprèn a programar en llenguatge Python.

7. Estructura del programa. Programació i look & feel. Taules mestres i paràmetres a controlar

7.1. Perfil dels usuaris

En l'estudi de l'accessibilitat del programa es podran diferenciar 3 tipus d'usuaris segons les dades que poden modificar o utilitzar dins del programa:

- Usuari alumne
- Usuari professor
- Usuari administrador

El primer usuari que apareix és l'**usuari alumne**. Aquest usuari únicament té accés de modificació en la simulació. Dins d'aquesta ha d'escollir el nombre de caixes que s'han de realitzar en l'ordre del dia actual i simular els costos i l'inventari final del dia següent. Aquest usuari també té accés a la visualització dels gràfics dels costos i l'inventari en front de les ordres de compra generats a partir de la simulació.

L'**usuari professor** és l'usuari que a partir d'unes claus d'accés pot escollir l'enunciat per a l'alumne escollint el tipus de demanda i seleccionant els paràmetres per a la creació d'un històric de demanda que després serà utilitzat per la demanda de la simulació. Tanmateix, l'usuari professor podrà seleccionar el valor dels paràmetres inicials com són els costos bàsics (CA, CL, CS y CD), l'estoc inicial i el valor dels paràmetres del tipus de demanda escollit segons l'enunciat. El valor dels costos y la capacitat del transport (furgoneta o camió), les condicions del magatzem, i la duració de la simulació venen fixades i són les mateixes per a totes les simulacions. Aquest usuari té també accés a totes les funcions que té autorització l'usuari alumne.

El darrer usuari que es comentarà és el de l'**usuari administrador o programador**. Aquest usuari és el que té accessibilitat completa a totes les funcions de l'eina. Pot accedir a la totalitat de les funcions esmentades anteriorment a més de poder fer canvis en la programació interna del software com la modificació de paràmetres fixes o la funcionalitat de les macros necessàries per al càlcul de la simulació del dia.

A continuació s'adjunta una taula resum de les accions que pot realitzar cada tipus d'usuari esmentat anteriorment:

| Perfil d'usuari | Professor | Alumne | Administrador |
|--|------------------|---------------|----------------------|
| <i>Selecció del tipus de demanda</i> | ✓ | ✗ | ✓ |
| <i>Selecció dels paràmetres inicials</i> | ✓ | ✗ | ✓ |
| <i>Selecció de l'ordre diària</i> | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Visualització dels gràfics generats</i> | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Modificació de les macros</i> | ✗ | ✗ | ✓ |

Taula 1: Tipus de perfils d'usuaris

7.2. Anàlisi funcional del programa i Look and feel

El bloc executor del programa queda definit com l'eina que mostrarà a l'usuari els valors en cada pantalla del software. Està definit pel codi definit mitjançant llenguatge VBA.

En aquest punt s'explicarà el funcionament de les macros utilitzades per les funcionalitats del programa. El look and feel d'un programa o software es podria descriure com l'aspecte i percepció que té l'usuari a l'hora d'interactuar amb aquest.

En el cas d'aquest simulador s'ha decidit fer aquesta descripció dividint el programa per les diferents pantalles que es pot trobar l'usuari.

La primera pantalla que es troba és la pantalla principal, on l'usuari pot veure les 4 opcions que té l'eina.

- Explicació del problema: Resum de l'enunciat del problema proposat.
- Introduir dades del problema: Pantalla per introduir les dades de costos i paràmetres previs a la simulació.
- Simulació de costos: Pantalla on es realitza la simulació de costos.
- Gràfics: Pantalla on es visualitzen els costos obtinguts segons la simulació prèvia realitzada.



Explicació del problema

Introduir dades
del problema

Simulació de costos



Gràfics

Il·lustració 8: Pantalla principal

Clicant en la icona d'explicació del problema veiem una nova pantalla on en primer pla tenim un quadre amb una explicació del que s'ha de realitzar en l'exercici de manera genèrica.

A la part superior dreta es veu la icona “”. Clicant aquesta icona es retorna a la pàgina principal esmentada anteriorment.



L'empresa ZEUS Perfumeria S.A. elabora la marca de colònia Amunet a la seva fàbrica de Barcelona. Es realitza un control d'estocs de productes semielaborats tals per poder satisfer la demanda amb el mínim cost possible. Es parteix de la premissa que l'estoc de colònia sempre és suficient per a cobrir tota la demanda. S'estudiarà només les necessitats d'estoc d'envasos per tal de simplificar la gestió del producte.

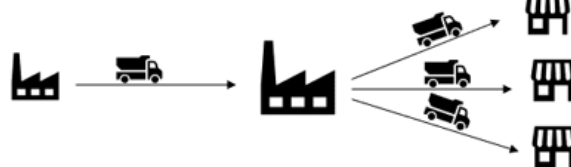


A partir dels cost d'adquisició C_A , el cost de llançament C_L , el cost de possessió C_p , el cost de ruptura d'estoc C_b i el cost d'emmagatzematge extra determinats a l'enunciat escollit pel professor. Es decideix realitzar un estudi d'aprovisionament segons el model indicat.

Per a realitzar el transport, es pot escollir entre dos opcions: l'ús de furgoneta o l'ús de camió. El cas del transport en furgoneta té una capacitat de 500 caixes amb un cost de 60€ per llançament. L'ús del camió ve determinat per una capacitat de 2000 caixes amb un cost de 230 € per llançament. En últim terme, s'introdueix el valor de l'estoc inicial.

El magatzem té una capacitat de 1000 caixes amb un cost d'emmagatzematge extra de 2 €/dia.

La demanda diària correspon als valors de l'històric de demanda segons el model escollit. S'accepta la ruptura d'estoc.



Si les existències actuals no són suficients per poder proveir als clients, es podrà servir més tard un cop es tinguin existències però amb un cost afegit pel retard (C_D) generat. La simulació dura fins un màxim de 28 dies (4 setmanes), on cada dia segueix la seqüència següent:

- S'indica l'inventari inicial del dia
- Apareix la demanda segons el històric de demanda creat anteriorment a partir dels paràmetres característics determinats per l'enunciat.
- S'intenta satisfer la demanda amb l'inventari actual
 - Si la demanda és inferior a l'inventari existent, se satisfà amb aquest
 - Si la demanda és superior a l'inventari inicial, cau en una falta d'estoc
- Arriba una nova ordre amb existències sol·licitades anteriorment (*)
- S'actualitza el valor d'inventari disponible al final del dia
- Es realitza una nova ordre de comanda

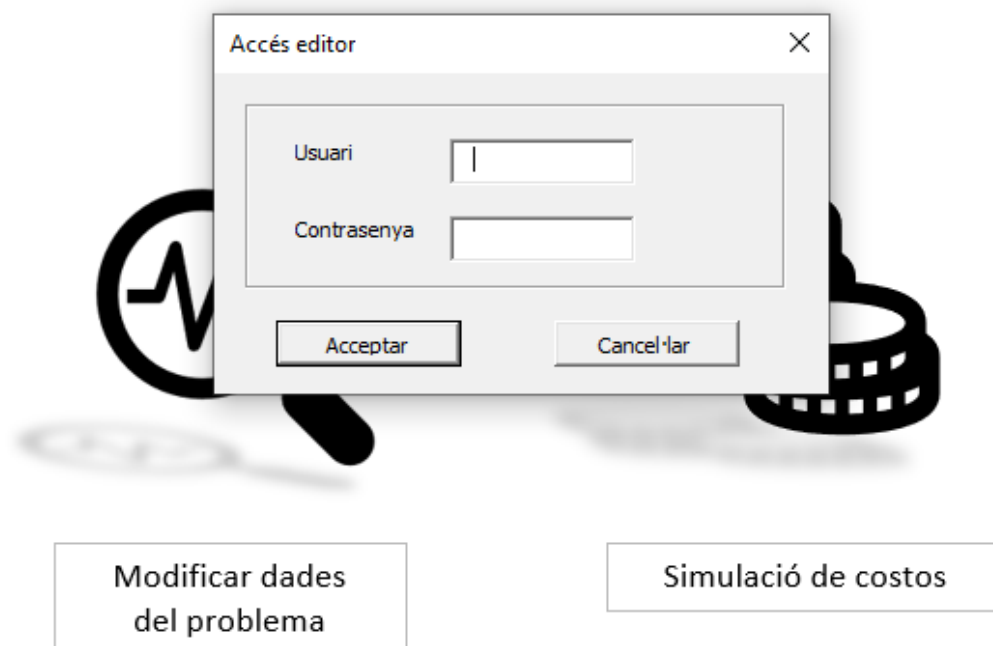
(*) Un cop realitzada una nova ordre al final de cada dia, el material es rebrà al final del dia $D+4$ i estarà disponible per satisfer la demanda el dia $D+5$. Depenent de la quantitat demandada la comanda s'entregarà amb furgoneta o amb camió, com s'ha detallat anteriorment.

Al final de cada jornada es reporten els costos generats per l'adquisició d'estoc, els costos de llançament, el cost generat per tenir falta d'estoc i els costos de possessió per mantenir dit estoc. D'aquesta manera es genera un cost total generat pels costos parcials i el cost acumulat fins al dia anterior. Finalment es calcula un cost mitjà diari segons el cost total generat i el nombre de dies simulats.

Tenint en compte el que s'ha après a classe, definir una política d'inventaris senzilla d'implementar a partir de les simulacions realitzades. Raonar les dades i càlculs obtinguts.

Il·lustració 9: Explicació del problema

El primer bloc del programa que s'analitzarà serà el de la pantalla d' "Introduir dades del problema". Per poder accedir-hi l'usuari professor o l'usuari administrador han d'introduir la seva clau d'accés.



Il·lustració 10: Quadre diàleg introducció de clau d'accés per modificar dades

En la pantalla d'introducció de dades l'usuari professor i l'usuari administrador poden editar els valors dels costos bàsics com són el C_L , C_A , C_S y C_D . ; El segon quadre correspon a les dades de transport com el cost i la capacitat que tenen les opcions de transport actuals que són la furgoneta i el camió, que són dades fixes per a totes les simulacions.

El tercer quadre que apareix és el corresponent a les condicions de magatzem. Aquestes dades també són fixes per a totes les simulacions i són la capacitat del magatzem i el cost d'emmagatzament extra. En el cas que se superi la capacitat i s'haurà de subcontractar a una empresa externa. L'últim quadre indica altres dades a tenir en compte com són el termini d'entrega, que es fixe i no es pot modificar, l'estoc inicial es pot modificar i la duració de la simulació també ve fixada. Aquesta simulació es pot realitzar fins a un màxim de 28 dies (4 setmanes).

En la part superior s'observa la icona "Escollir" el tipus de demanda. Clicant sobre ella s'arriba a una nova pantalla on se selecciona el tipus de demanda i els paràmetres necessaris per crear un històric de demanda.

A la part superior dreta s'observa la icona "🏠" per tornar a la pantalla principal.

DADES DE SIMULACIÓ



Tipus de demanda
Escollir


Canvi de contrasenyes



| COSTOS BÀSICS | | | |
|-----------------------|-------|---------------|---|
| Llançament (CL) | 0 | €/caixa | Independent de la quantitat |
| Adquisició (CA) | 0,5 | €/caixa | |
| Possessió (CS) | 0,004 | €/(caixa-dia) | Segons el nombre de caixes disponibles al final del dia |
| Demanda diferida (CD) | 0,1 | €/(caixa-dia) | Efectuat al final del dia (abans de que arribin les comandes) pel nombre de caixes pendents |

| TRANSPORT | | | |
|---------------------|------|--------------|---|
| Cost furgoneta | 60 | €/llançament | |
| Capacitat furgoneta | 500 | caixes | Si s'ha de fer transport amb la capacitat de la furgoneta |
| Cost camió | 230 | €/llançament | |
| Capacitat camió | 2000 | caixes | Si s'ha de fer transport amb la capacitat del camió |

| CONDICIONS MAGATZEM | | | |
|---------------------|------|--------|--------------------------------|
| Capacitat magatzem | 1000 | caixes | Capacitat màxima del magatzem |
| Emmagatzament extra | 2 | €/dia | Si l'estoc supera la capacitat |

| ALTRES DADES | | | |
|-------------------------|-----|--------|--|
| Termini d'entrega | 4 | Dies | Si una demanda es realitza al final del dia D, arribarà al final del dia (D+4), per tant no es podrà utilitzar fins al dia (D+5) |
| Estoc inicial | 720 | caixes | |
| Duració de la simulació | 28 | Dies | Temps de simulació total, fins a un màxim de 56 dies |

Dades introduïdes per l'usuari
 Dades fixades

Il·lustració 11: Introduir dades

Selecció de la icona d' "Escollir" tipus de demanda s'entra dins la pantalla d'escollir el tipus de demanda on s'observa la informació següent:

Il·lustració 12: Tipus de demanda

En primer lloc s'ha de seleccionar el tipus de demanda que tindrà el problema. S'ha d'escollir entre demanda homogènia o demanda aleatòria. Segons la demanda escollida es desplegarà una taula d'introducció de paràmetres diferent.

En el cas en què s'esculli demanda homogènia apareixerà la següent taula:

| | | | | | | | |
|----|--|----|--|----|--|----|--|
| 1 | | 15 | | 29 | | 43 | |
| 2 | | 16 | | 30 | | 44 | |
| 3 | | 17 | | 31 | | 45 | |
| 4 | | 18 | | 32 | | 46 | |
| 5 | | 19 | | 33 | | 47 | |
| 6 | | 20 | | 34 | | 48 | |
| 7 | | 21 | | 35 | | 49 | |
| 8 | | 22 | | 36 | | 50 | |
| 9 | | 23 | | 37 | | 51 | |
| 10 | | 24 | | 38 | | 52 | |
| 11 | | 25 | | 39 | | 53 | |
| 12 | | 26 | | 40 | | 54 | |
| 13 | | 27 | | 41 | | 55 | |
| 14 | | 28 | | 42 | | 56 | |

Il·lustració 13: Demanda homogènia

Introduint un valor en la casella seleccionada de demanda homogènia i clicant sobre la casella dades es crea un històric de demanda on el valor és l'introduït. La macro associada a aquesta icona omple la taula amb conjunt de valors constants.

En el cas en què es vulgui introduir un altre valor s'ha de seleccionar la casella esborrar. La macro encarregada d'aquesta acció selecciona totes les caselles de dades de la taula i esborra els seus valors, deixant la taula en blanc per poder introduir noves dades.



Per canviar de tipus de demanda s'ha de seleccionar la casella resetejar tipus. Aquesta icona s'encarrega d'esborrar les dades de les taules dels diferents tipus de demanda, així com les dades històriques que hi havien emmagatzemades anteriorment.

En el cas en què s'esculli el tipus de demanda aleatòria apareixerà la següent taula:

Tipus demanda

Aleatòria

Resetejar tipus

Demanda aleatòria

μ
 σ

Dades



Esborrar

| | | | |
|----|----|----|----|
| 1 | 15 | 29 | 43 |
| 2 | 16 | 30 | 44 |
| 3 | 17 | 31 | 45 |
| 4 | 18 | 32 | 46 |
| 5 | 19 | 33 | 47 |
| 6 | 20 | 34 | 48 |
| 7 | 21 | 35 | 49 |
| 8 | 22 | 36 | 50 |
| 9 | 23 | 37 | 51 |
| 10 | 24 | 38 | 52 |
| 11 | 25 | 39 | 53 |
| 12 | 26 | 40 | 54 |
| 13 | 27 | 41 | 55 |
| 14 | 28 | 42 | 56 |

Il·lustració 14: Demanda aleatòria

La taula de la demanda aleatòria té la mateixa distribució i les mateixes icones de Dades i Esborrar com en el cas de la demanda homogènia. En aquesta funció la demanda segueix una llei normal, raó per la qual s'ha d'introduir el valor de la mitjana μ i desviació tipus σ .

La macro encarregada de generar aquest conjunt de dades omple la taula generant valors aleatoris que segueixen aquesta llei. Posteriorment emmagatzema els valors en l'historial de demanda que s'utilitzarà en la simulació.

Un cop decidida la demanda se selecciona la icona “” per tornar a la pàgina d'introducció de dades anterior. Finalment, un cop triada la demanda i els paràmetres inicials, per tornar a la pàgina principal se selecciona la icona “”.

El següent bloc de programació que s'analitza és el de "simulació de costos". Per accedir a aquest bloc es pot arribar des de la pàgina principal o des del bloc corresponent a la part gràfica.

A continuació es pot observar la pantalla corresponent a aquest bloc:

Nova Simulació


Avanç dia


| Tipus demanda | Dia | Cost total | Nom simulació | Inventari entrant | |
|---------------|-----|------------|---------------|-------------------|---|
| Aleatòria | 1 | - € | | Inventari actual | 0 |

| Disponibilitat de caixes | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Dia | Inventari inicial | Demanda | Falta d'estoc | Ordre rebuda | Inventari final | Ordre | Cost adquisició | Cost llançament | Cost falta d'estoc | Cost possessió | Cost acumulat | Cost mig dia |
|-----------|-------------------|---------|---------------|--------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|---------------|--------------|
| Setmana 1 | 1 | 600 | 104 | 0 | 0 | 496 | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | |
| Setmana 2 | 8 | | | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | | |
| | 11 | | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | | |
| | 13 | | | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | | | |

Il·lustració 105: Simulació de costos

En la part superior s'observa la icona “” nova simulació serveix per reinicialitzar una nova simulació a partir de les dades introduïdes anteriorment. La macro que s'encarrega d'aquesta acció esborra totes les dades dels dies de la simulació actual. Dita macro no esborra les dades introduïdes prèviament en l'apartat d'introducció de dades.

Introduint un valor a la casella Ordre en color rosat corresponent a l'ordre diària emesa, l'usuari ha de seleccionar la icona “” avanç dia. Aquest avanç de dia executa la macro corresponent al càlcul dels costos i dades inicials per al següent dia.

La macro corresponent al “Càlcul dia”, expressat en l'annex, calcula a partir de les dades inicials d'estoc inicial, demanda del dia actual, falta d'estoc, ordre de rebuda i inventari final els costos associats a dades esmentades.

En primer lloc calcula el cost d'adquisició a partir de l'ordre corresponent al dia actual i al cost d'adquisició (C_A) introduït anteriorment. A continuació calcula el cost de llançament com el valor de l'ordre emesa el dia actual pel valor del cost de llançament (C_L) introduït amb anterioritat i el cost de transport corresponent a l'ús de camió o furgoneta segons el valor de l'ordre emesa i la capacitat de què disposi cadascun dels mètodes de transport.

Seguidament es calcula el cost per falta d'estoc. Aquest cost es calcula com la quantitat d'estoc que no s'ha pogut entregar durant el dia actual pel cost associat a no poder realitzar-ho (C_D).

A continuació es calcula el valor del cost de possessió. Aquest cost ve determinat per la quantitat d'inventari existent en el magatzem actualment (inventari final) i el cost per mantenir aquesta mercaderia segura i en bones condicions (C_s). En el cas en què l'inventari disponible sigui superior a la capacitat d'inventari seleccionada anteriorment implicarà un cost extra per haver d'emmagatzemar-ho en un magatzem extern.

En darrer lloc es calcula el cost total acumulat en el dia simulat i se suma al valor dels dies anteriors, de manera que s'obté el cost total de tots els dies simulats. Com a darrer càlcul de costos, el programa calcula el valor de cost mig diari com al cost total fins al dia simulat entre el nombre de dies simulats.

Un cop ha calculat tots els costos, el programa envia l'ordre realitzada aquest dia i fa córrer totes les ordres un dia. L'ordre que estava en el "Dia 1" s'introdueix a la casella d'ordre rebuda del dia següent al dia simulat.

La casella corresponent a "Inventari final" del dia D, passa a ser la casella d' "Inventari inicial" del dia D+1. Apareix un nou valor de demanda segons els valors de l'històric de demanda generat anteriorment.

A continuació es calcula el valor de la "Falta d'estoc". Aquest valor apareix quan l'estoc inicial és inferior al valor de la demanda existent. En el cas que sigui negatiu, el valor de l'ordre rebuda servirà per pal·liar els efectes de la ruptura d'estoc.

Finalment, calcula el valor de l'inventari final com la diferencia de l'inventari inicial i la demanda diària més el valor de les unitats d'ordre rebuda. Aquest valor estarà també indicat en la casella "Inventari actual" de la il·lustració 16.

En la següent il·lustració es pot veure en més detall les icones de "Nova simulació" i "Avanç dia" esmentats.



Nova Simulació



Avanç dia

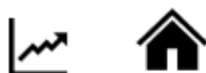
| Tipus demanda | Dia | Cost total | Nom simulació | Inventari entrant | |
|---------------|-----|------------|---------------|-------------------|---|
| Aleatòria | 1 | - € | | Inventari actual | 0 |

Il·lustració 16: Detall dades pantalla simulació de costos

En la següent il·lustració s'observa un conjunt de cel·les corresponents a:

- Tipus de demanda: corresponent al tipus de demanda escollit en la pantalla d'introduir dades del sistema.
- Dia: corresponent al dia de la simulació en què es troba l'usuari.
- Cost total: corresponent a la suma de tots els costos realitzats fins al dia en què es troba la simulació.
- Nova simulació: corresponent al nom de l'alumne que realitza la simulació.
- Inventari entrant: corresponent a l'inventari del qual s'ha realitzat una ordre i encara no ha arribat.
- Inventari actual: corresponent a l'inventari que està al magatzem disponible per necessitats actuals.

En la il·lustració següent es veuen més detalladament les icones que estan disposades a la part superior dreta de la pantalla:



| Disponibilitat de caixes | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0 | 600 | 200 |

Il·lustració 17: Detall disponibilitat de caixes en simulació de costos

La icona “” s'utilitza per a accedir a la pantalla de gràfics generats un cop s'ha iniciat la simulació. Per últim, la icona “” accedeix a la pantalla principal del software.

El quadre de disponibilitat de caixes representa els dies que resten fins que arribin les ordres emeses amb anterioritat. Un cop generada una ordre, aquesta es realitza al final del dia D, arribarà al final del dia (D+4), per tant no es podrà utilitzar fins al dia (D+5). D'aquesta manera, cada dia correspon a les unitats emeses on la suma de les quals correspon a la cel·la “Inventari entrant” descrit anteriorment.

| | Dia | Inventari inicial | Demanda | Falta d'estoc | Ordre rebuda | Inventari final | Ordre | Cost adquisició | Cost llançament | Cost falta d'estoc | Cost possessió | Cost acumulat | Cost mig diari |
|----------|-----|-------------------|---------|---------------|--------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|---------------|----------------|
| Semana 1 | 1 | 600 | 104 | 0 | 0 | 496 | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | |

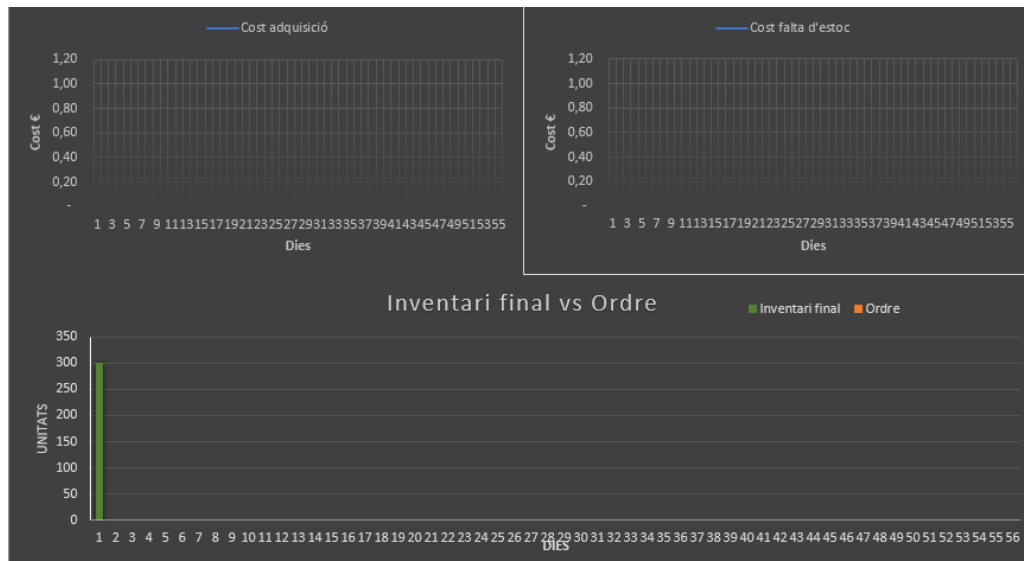
Il·lustració 18: Detall 2 pantalla simulació de costos

La primera columna de la il·lustració 21 mostra les següents dades:

- Dia: indica el dia en què es troba la simulació.
- Inventari inicial: correspon a l'inventari existent a l'inici del dia.
- Demanda: corresponent al valor de l'historial de demanda generat.
- Falta d'estoc: corresponent a les unitats que no s'han pogut servir, ja que no hi havia estoc disponible.
- Ordre rebuda: quantitat de caixes rebudes el dia D+4 i que estaran disponibles a partir del dia D+5.
- Inventari final: corresponent a l'inventari total al final del dia simulat.
- Ordre: corresponent a l'ordre emesa el dia D i amb el qual es realitza la simulació de costos.
- Cost d'adquisició: cost corresponent a la compra o producció dels articles.
- Cost de llançament: cost associat a la preparació d'una ordre de fabricació o compra.
- Cost de falta d'estoc: cost associat a no poder satisfer la demanda.
- Cost de possessió: cost associat a la conservació dels articles de l'inventari durant un dia.
- Cost acumulat: suma dels costos diaris anteriors i acumulat del dia anterior.
- Cost mig diari: cost corresponent al cost acumulat entre el dia de la simulació actual .

L'últim bloc del programa analitzat és el bloc de "Gràfics". A aquest bloc s'hi pot accedir des de la pàgina principal o des del bloc de "Simulació de costos". Un cop s'ha accedit a dit bloc, s'obté la següent pantalla:





Il·lustració 19: Pantalla de gràfics

El primer gràfic correspon al cost total acumulat enfront dels dies de simulació. A continuació apareix quatre gràfics corresponents al cost d'adquisició, al cost de llançament, al cost de llançament i al cost de falta d'estoc enfront al dia. La darrera fila de gràfics correspon al corresponent a la comparació de l'inventari final i de les ordres emeses durant els dies de simulació.

8. Experiència computacional. Jocs de dades

En aquest punt es realitzaran 2 blocs de simulacions de demanda homogènia segons el model de Harris-Wilson. En primer lloc es realitzaran 3 jocs de dades per a la demanda satisfeta a partir del transport per furgoneta i a continuació 3 jocs més per a la demanda satisfeta a partir de camió.

8.1. Demanda homogènia en furgoneta

Per realitzar les simulacions d'aquest primer tipus de demanda, en primer lloc s'ha de calcular el valor de la grandària de lot òptim segons el model de Harris-Wilson.

| COSTOS BÀSICS | | TRANSPORT | | CONDICIONS MAGATZEM | | ALTRES DADES | |
|-----------------------|--------------|---------------------|------------------|-----------------------|--------------|-------------------------|------------|
| Llançament (CL) | 0 €/Caixa | Cost furgoneta | 60 €/llançament | Capacitat | 1000 caixes | Termini d'entrega | 4 dies |
| Adquisició (CA) | 0,5 €/Caixa | Capacitat furgoneta | 500 caixes | Emmagatzemament extra | 2 €/dia | Estoc inicial | 600 caixes |
| Possessió (CS) | 0,01 €/Caixa | Cost camió | 115 €/llançament | TIPUS DEMANDA | | Duració de la simulació | 28 dies |
| Demanda diferida (CD) | 0,1 €/Caixa | Capacitat camió | 2000 caixes | | | | |
| | | | | Homogènia | D = 5 caixes | | |

Taula 2: Taula dades simulació demanda homogènia transport furgoneta

Per fer-ho a partir d'un valor de demanda de 5 caixes diàries, es calcula el valor de la demanda mensual com:

$$D = D_{diària} \cdot 28 \text{ dies} = 140 \text{ caixes}$$

Equació 7: Càlcul demanda mensual

D'aquesta manera, s'ha pres com a cost de llançament el cost d'utilitzar la furgoneta. Segons aquestes dades, la grandària de lot i el punt de comanda són els següents:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot CL \cdot D}{C_s}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 60 \cdot 5}{0,01 \cdot 28}} = 46 \text{ caixes}$$

Equació 8: Càlcul de la mida de lot amb furgoneta

$$s = L \cdot D = (4 + 1) \text{ dies} \cdot 5 \frac{\text{caixes}}{\text{dia}} = 25 \text{ caixes}$$

Equació 9: Càlcul del punt de comanda

Com s'ha vist prèviament, la capacitat de la furgoneta és de 500 unitats, de manera que aquest valor està dins la seva capacitat. En primer lloc s'ha de calcular la freqüència de reaprovisionament (N):

$$N = \frac{D}{Q} = \frac{140}{46} = 3,04 \frac{\text{llançaments}}{\text{mes}}$$

Equació 10: Càlcul de la freqüència de reaprovisionament

Realitzant els càlculs teòrics d'aprovisionament s'obtingrien el cost de llançament (KL), cost d'adquisició (KA) i cost de possessió (KS) mensuals de:

$$KL = N \cdot CL = 182,6\text{€}$$

$$KA = CA \cdot D = 70\text{€}$$

$$KS = CS \cdot \frac{Q}{2} = 6,44\text{€}$$

$$\text{Cost Total} = \sum K = 259,04\text{€}$$

Equació 11: Càlcul cost total mensual


S'ha decidit realitzar tres jocs de dades diferents per comparar els costos obtinguts i veure quina és la grandària de lot més adient en aquest cas segons els costos generats. Els tres casos estudiats seran els següents:


- Ordre de 35 caixes
- Ordre de 45 caixes
- Ordre de 55 caixes


8.1.1. Ordre de 35 caixes



El primer cas que s'estudia és el cas en què la mida de lot s'ha aproximat a les 35 caixes i, per tant, el transport s'efectua en furgoneta. Les dades utilitzades per la simulació han estat les següents:

En aquest cas, Q= 35 caixes i el punt de comanda de 25 caixes. Realitzant la simulació amb els valors esmentats anteriorment s'han obtingut els valors següents:



 Nova Simulació

 Avanç dia

| Tipus demanda | Dia | Cost total | Nom simulació | Inventari entrant | 0 | Disponibilitat de caixes | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 |
|---------------|-----|------------|---------------|-------------------|----|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Homogènia | 28 | 315,30 € | | Inventari actual | 30 | | 0 | 0 | 0 | 0 |

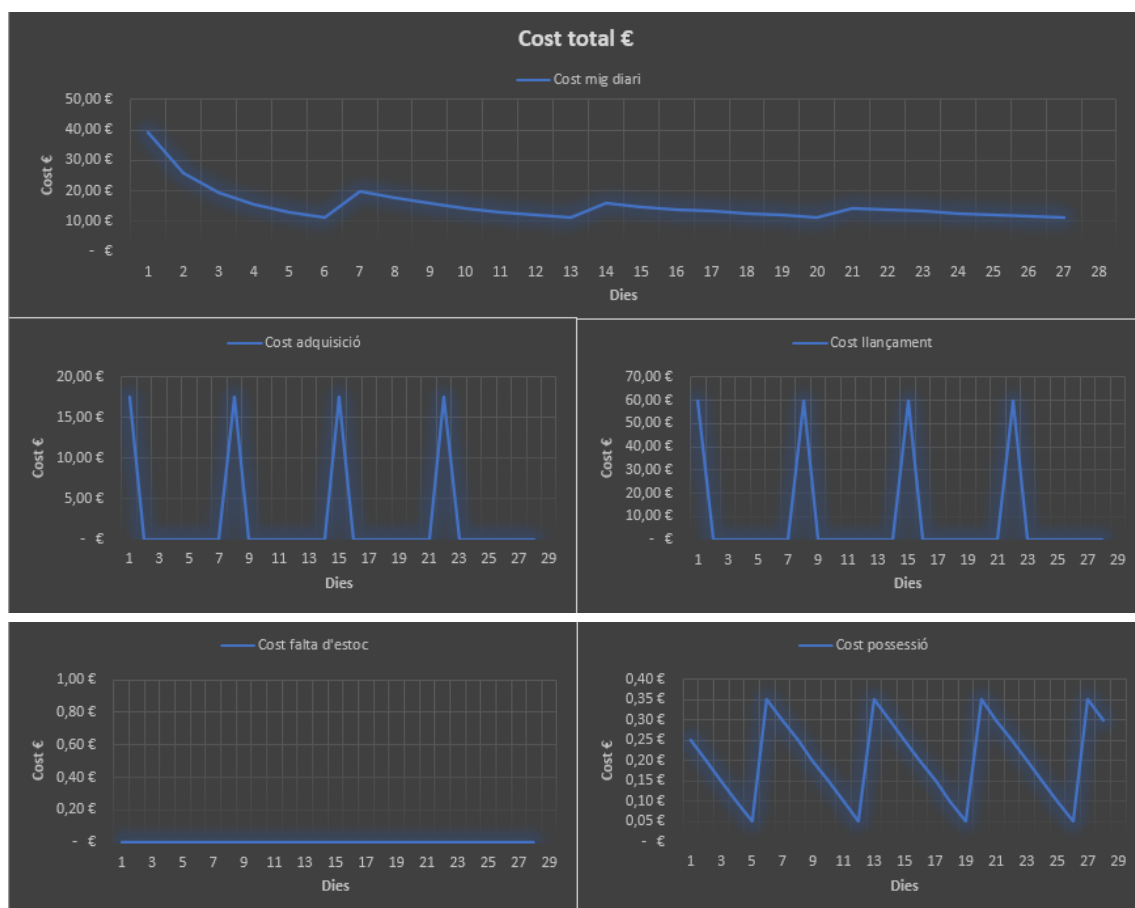
| Dia | Inventari inicial | Demanda | Falta d'estoc | Ordre rebuda | Inventari final | Ordre | Cost adquisició | Cost llançament | Cost falta d'estoc | Cost possessió | Cost acumulat | Cost mig diari | |
|----------|-------------------|---------|---------------|--------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|---------------|----------------|---------|
| Semana 1 | 1 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 35 | 17,50 € | 60,00 € | - € | 0,25 € | 77,75 € | 77,75 € |
| | 2 | 25 | 5 | 0 | 0 | 20 | 0 | - € | - € | - € | 0,20 € | 77,95 € | 38,98 € |
| | 3 | 20 | 5 | 0 | 0 | 15 | 0 | - € | - € | - € | 0,15 € | 78,10 € | 26,03 € |
| | 4 | 15 | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | - € | - € | - € | 0,10 € | 78,20 € | 19,55 € |
| | 5 | 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | - € | - € | - € | 0,05 € | 78,25 € | 15,65 € |
| | 6 | 5 | 5 | 0 | 35 | 35 | 0 | - € | - € | - € | 0,35 € | 78,60 € | 13,10 € |
| | 7 | 35 | 5 | 0 | 0 | 30 | 0 | - € | - € | - € | 0,30 € | 78,90 € | 11,27 € |
| Semana 2 | 8 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 35 | 17,50 € | 60,00 € | - € | 0,25 € | 156,65 € | 19,58 € |
| | 9 | 25 | 5 | 0 | 0 | 20 | 0 | - € | - € | - € | 0,20 € | 156,85 € | 17,43 € |
| | 10 | 20 | 5 | 0 | 0 | 15 | 0 | - € | - € | - € | 0,15 € | 157,00 € | 15,70 € |
| | 11 | 15 | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | - € | - € | - € | 0,10 € | 157,10 € | 14,28 € |
| | 12 | 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | - € | - € | - € | 0,05 € | 157,15 € | 13,10 € |
| | 13 | 5 | 5 | 0 | 35 | 35 | 0 | - € | - € | - € | 0,35 € | 157,50 € | 12,12 € |
| | 14 | 35 | 5 | 0 | 0 | 30 | 0 | - € | - € | - € | 0,30 € | 157,80 € | 11,27 € |

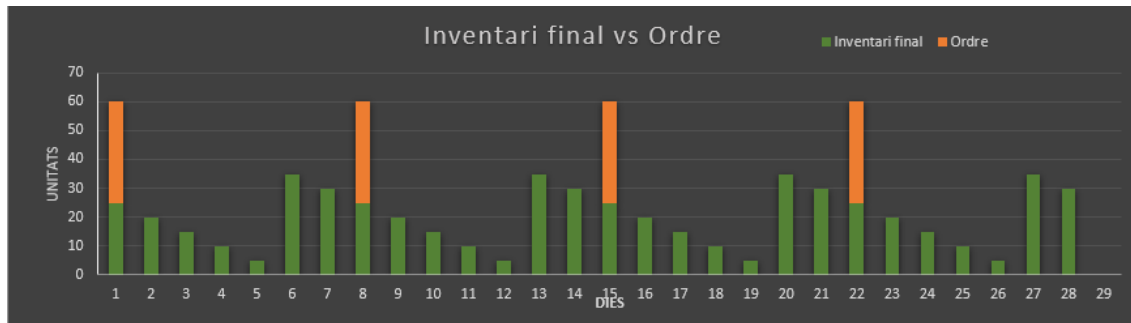
| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|----|---|---|----|----|----|---------|---------|-----|--------|----------|---------|
| Semana 3 | 15 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 35 | 17,50 € | 60,00 € | - € | 0,25 € | 235,55 € | 15,70 € |
| | 16 | 25 | 5 | 0 | 0 | 20 | 0 | - € | - € | - € | 0,20 € | 235,75 € | 14,73 € |
| | 17 | 20 | 5 | 0 | 0 | 15 | 0 | - € | - € | - € | 0,15 € | 235,90 € | 13,88 € |
| | 18 | 15 | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | - € | - € | - € | 0,10 € | 236,00 € | 13,11 € |
| | 19 | 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | - € | - € | - € | 0,05 € | 236,05 € | 12,42 € |
| | 20 | 5 | 5 | 0 | 35 | 35 | 0 | - € | - € | - € | 0,35 € | 236,40 € | 11,82 € |
| | 21 | 35 | 5 | 0 | 0 | 30 | 0 | - € | - € | - € | 0,30 € | 236,70 € | 11,27 € |
| Semana 4 | 22 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 35 | 17,50 € | 60,00 € | - € | 0,25 € | 314,45 € | 14,29 € |
| | 23 | 25 | 5 | 0 | 0 | 20 | 0 | - € | - € | - € | 0,20 € | 314,65 € | 13,68 € |
| | 24 | 20 | 5 | 0 | 0 | 15 | 0 | - € | - € | - € | 0,15 € | 314,80 € | 13,12 € |
| | 25 | 15 | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | - € | - € | - € | 0,10 € | 314,90 € | 12,60 € |
| | 26 | 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | - € | - € | - € | 0,05 € | 314,95 € | 12,11 € |
| | 27 | 5 | 5 | 0 | 35 | 35 | 0 | - € | - € | - € | 0,35 € | 315,30 € | 11,68 € |
| | 28 | 35 | 5 | 0 | 0 | 30 | 0 | - € | - € | - € | 0,30 € | 315,60 € | 11,27 € |

Il·lustració 20: Resultats de la simulació 1

Seguint l'ordre d'aprovisionament descrita de 35 caixes, el cost final de la simulació dels 28 dies ha estat de 335,60 €. Aquest cost total correspon a un valor mig d' 11,27 € diaris. Podem dir que la simulació real no s'apropa al model ideal, error que pot veure's afectat per l'aproximació de la mida de lot.

A continuació s'adjunta el conjunt de gràfics corresponents als costos generats durant la simulació.





Il·lustració 21: Gràfics dels resultats de la simulació 1

En primer lloc es pot observar com el cost mig diari s'estabilitza tendint a 11,27 € diaris. En els càlculs teòrics s'havia obtingut un cost de 9,25 €. Aquesta diferència comporta una diferència del cost diari del 21,31%, un valor força allunyat del valor òptim trobat per Harris-Wilson.

En els gràfics s'observa com els costos tenen forma de pics. Això es deu a que es fan comandes quan l'estoc arriba al punt de comanda. El cost d'adquisició i el cost de llançament apareixen el dia que es realitza la simulació. Degut a que les comandes s'ordenen sempre de la mateixa quantitat, sempre s'obtindrà el mateix cost.

El cost de falta d'estoc és nul en tota la simulació, ja que ens trobem en el model de Harris-Wilson que no accepta ruptura d'estoc.





El cost de possessió és fluctuant i periòdic. Això és deu al fet que l'estoc disminueix durant els primers dies des de l'inici de la simulació fins que arriba la primera ordre emesa. Quan arriba l'ordre l'estoc augmenta, per tant, el seu cost es dispara per la gran quantitat d'estoc ordenada. Quan torna a disminuir l'estoc, ho fa conseqüentment el seu cost. Un cop estabilitzat el primer tram de reducció d'estoc fins que arriba la primera comanda emesa, el cost de possessió es comporta de manera periòdica.

L'últim dels gràfics que es mostren indica l'inventari diari final i l'ordre emesa. Es pot veure com en un primer terme es fa l'ordre quan l'estoc disponible arriba al valor de punt de comanda $s=25$ caixes, això succeeix el primer dia. A partir d'aquest moment, es realitzen comandes amb una mida de lot de 35 caixes els dies en què l'estoc final arriba a les 25 caixes. Es pot observar com en aquest cas, un cop comencen a arribar les comandes emeses, hi ha una disminució constant en l'estoc disponible.

8.1.2. Odre de 45 caixes

El segon cas que s'estudia és el cas en què la mida de lot s'ha aproximat a les 400 caixes i, per tant, el transport s'efectua en furgoneta. Aquest valor s'estudia pel fet que és el valor aproximat més proper a valors possibles tenint en compte la mida de lot òptima obtinguda amb el transport en furgoneta. Les dades utilitzades per la simulació han estat les següents:

En aquest cas, $Q = 460$ caixes i el punt de comanda de 100 caixes. Realitzant la simulació amb els valors esmentats anteriorment s'han obtingut els valors següents:

| <div>  <div>Nova Simulació</div> <div>  Avanç dia </div> <div>   </div> </div> | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---------|---------------|---------------|-------------------|-------|-----------------|--------------------------|--------------------|----------------|---------------|----------------|
| Tipus demanda | | Dia | Cost total | Nom simulació | Inventari entrant | 0 | | Disponibilitat de caixes | | | | |
| Homogènia | | 28 | 254,25 € | | Inventari actual | 25 | | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | |
| | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Dia | Inventari inicial | Demanda | Falta d'estoc | Ordre rebuda | Inventari final | Ordre | Cost adquisició | Cost lliançament | Cost falta d'estoc | Cost possessió | Cost acumulat | Cost mig diari |
| Semana 1 | 1 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 45 | 22,50 € | 60,00 € | - € | 0,25 € | 82,75 € |
| | 2 | 25 | 5 | 0 | 0 | 20 | 0 | - € | - € | - € | 0,20 € | 82,95 € |
| | 3 | 20 | 5 | 0 | 0 | 15 | 0 | - € | - € | - € | 0,15 € | 83,10 € |
| | 4 | 15 | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | - € | - € | - € | 0,10 € | 83,20 € |
| | 5 | 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | - € | - € | - € | 0,05 € | 83,25 € |
| | 6 | 5 | 5 | 0 | 45 | 45 | 0 | - € | - € | - € | 0,45 € | 83,70 € |
| | 7 | 45 | 5 | 0 | 0 | 40 | 0 | - € | - € | - € | 0,40 € | 84,10 € |
| Semana 2 | 8 | 40 | 5 | 0 | 0 | 35 | 0 | - € | - € | - € | 0,35 € | 84,45 € |
| | 9 | 35 | 5 | 0 | 0 | 30 | 0 | - € | - € | - € | 0,30 € | 84,75 € |
| | 10 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 45 | 22,50 € | 60,00 € | - € | 0,25 € | 167,50 € |
| | 11 | 25 | 5 | 0 | 0 | 20 | 0 | - € | - € | - € | 0,20 € | 167,70 € |
| | 12 | 20 | 5 | 0 | 0 | 15 | 0 | - € | - € | - € | 0,15 € | 167,85 € |
| | 13 | 15 | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | - € | - € | - € | 0,10 € | 167,95 € |
| | 14 | 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | - € | - € | - € | 0,05 € | 168,00 € |
| Semana 3 | 15 | 5 | 5 | 0 | 45 | 45 | 0 | - € | - € | - € | 0,45 € | 168,45 € |
| | 16 | 45 | 5 | 0 | 0 | 40 | 0 | - € | - € | - € | 0,40 € | 168,85 € |
| | 17 | 40 | 5 | 0 | 0 | 35 | 0 | - € | - € | - € | 0,35 € | 169,20 € |
| | 18 | 35 | 5 | 0 | 0 | 30 | 0 | - € | - € | - € | 0,30 € | 169,50 € |
| | 19 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 45 | 22,50 € | 60,00 € | - € | 0,25 € | 252,25 € |
| | 20 | 25 | 5 | 0 | 0 | 20 | 0 | - € | - € | - € | 0,20 € | 252,45 € |
| | 21 | 20 | 5 | 0 | 0 | 15 | 0 | - € | - € | - € | 0,15 € | 252,60 € |
| Semana 4 | 22 | 15 | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | - € | - € | - € | 0,10 € | 252,70 € |
| | 23 | 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | - € | - € | - € | 0,05 € | 252,75 € |
| | 24 | 5 | 5 | 0 | 45 | 45 | 0 | - € | - € | - € | 0,45 € | 253,20 € |
| | 25 | 45 | 5 | 0 | 0 | 40 | 0 | - € | - € | - € | 0,40 € | 253,60 € |
| | 26 | 40 | 5 | 0 | 0 | 35 | 0 | - € | - € | - € | 0,35 € | 253,95 € |
| | 27 | 35 | 5 | 0 | 0 | 30 | 0 | - € | - € | - € | 0,30 € | 254,25 € |
| | 28 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 0 | - € | - € | - € | 0,25 € | 254,50 € |

II-lustració 32: Resultats de la simulació 2

Seguint l'ordre d'aprovisionament descrita de 45 caixes, el cost final de la simulació dels 28 dies ha estat de 254,50 €. Aquest cost total correspon a un valor mig de 9,09 € diaris. Podem dir que la simulació real s'apropa al model ideal.

A continuació s'adjunta el conjunt de gràfics corresponents als costos generats durant la simulació.



Il·lustració 23: Gràfics dels resultats de la simulació 2

En primer lloc es pot observar com el cost mig diari s'estabilitza tendint a 9,05 € diaris. En els càlculs teòrics s'havia obtingut un cost de 9,25 €. Aquesta diferència comporta una diferència del cost diari del 2,17%. Un error molt baix, cosa que ens indica que aquesta és una bona mida de lot.

En els gràfics s'observa com els costos tenen forma de pics. Això es deu al fet que es fan comandes quan l'estoc arriba al punt de comanda. El cost d'adquisició i el cost de llançament apareixen el en què es realitza la simulació. Com que les comandes s'ordenen sempre de la mateixa quantitat, sempre s'obtindrà el mateix cost. En aquest cas estudiat, apareixen més pics, ja que s'han de realitzar més comandes perquè la mida de lot ordenada és menor que en el cas anterior.

El cost de falta d'estoc és nul en tota la simulació, ja que ens trobem en el model de Harris-Wilson que no accepta ruptura d'estoc.






El cost de possessió és fluctuant i periòdic. Això és degut al fet que l'estoc disminueix durant els primers dies des de l'inici de la simulació fins que arriba la primera ordre emesa. Quan arriba l'ordre l'estoc augmenta, per tant, el seu cost es dispara per la gran quantitat d'estoc ordenada. Quan torna a disminuir l'estoc, ho fa conseqüentment el seu cost. Un cop estabilitzat el primer tram de reducció d'estoc fins que arriba la primera comanda emesa, el cost de possessió es comporta de manera periòdica.

L'últim dels gràfics que es mostren indica l'inventari diari final i l'ordre emesa. Es pot veure com en un primer terme es fa l'ordre quan l'estoc disponible arriba al valor de punt de comanda $s=25$ caixes, això succeeix el primer dia. A partir d'aquest moment, es realitzen comandes amb una mida de lot de 45 caixes els dies en què l'estoc final arriba a les 25 caixes. Es pot observar com en aquest cas, un cop comencen a arribar les comandes emeses, hi ha una disminució constant en l'estoc disponible.

8.1.3. Odre de 55 caixes

El segon cas que s'estudia és el cas en què la mida de lot s'ha aproximat a les 55 caixes i, per tant, el transport s'efectua amb furgoneta. Aquest valor s'estudia perquè és el valor aproximat més proper a valors possibles tenint en compte la mida de lot òptima obtinguda amb el transport en furgoneta. Les dades utilitzades per la simulació han estat les següents:

En aquest cas, $Q= 55$ caixes i el punt de comanda de 25 caixes. Realitzant la simulació amb els valors esmentats anteriorment s'han obtingut els valors següents:

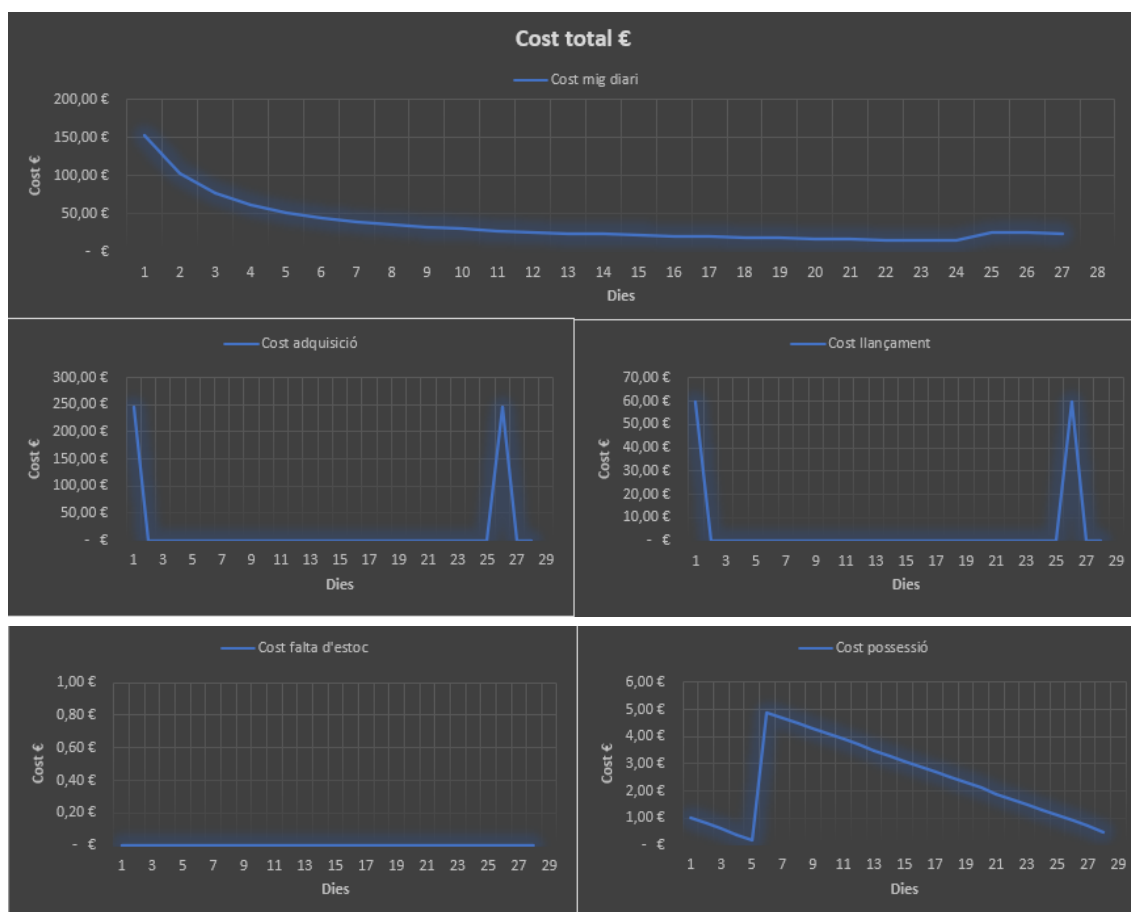
| | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-------------------|------------|---------------|-------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|---------------|----------------|
| <div>  <div>  Nova Simulació  Avanç dia </div> <div>   </div> </div> | | | | | | | | | | | | | |
| Tipus demanda | | Dia | Cost total | Nom simulació | Inventari entrant | 0 | Disponibilitat de caixes | | | | | | |
| Homogènia | | 28 | 269,85 € | | Inventari actual | 55 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | Dia | Inventari inicial | Demanda | Falta d'estoc | Ordre rebuda | Inventari final | Ordre | Cost adquisició | Cost llançament | Cost falta d'estoc | Cost possessió | Cost acumulat | Cost mig diari |
| Semana 1 | 1 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 55 | 27,50 € | 60,00 € | - € | 0,25 € | 87,75 € | 87,75 € |
| | 2 | 25 | 5 | 0 | 0 | 20 | 0 | - € | - € | - € | 0,20 € | 87,95 € | 43,98 € |
| | 3 | 20 | 5 | 0 | 0 | 15 | 0 | - € | - € | - € | 0,15 € | 88,10 € | 29,37 € |
| | 4 | 15 | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | - € | - € | - € | 0,10 € | 88,20 € | 22,05 € |
| | 5 | 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | - € | - € | - € | 0,05 € | 88,25 € | 17,65 € |
| | 6 | 5 | 5 | 0 | 55 | 55 | 0 | - € | - € | - € | 0,55 € | 88,80 € | 14,80 € |
| | 7 | 55 | 5 | 0 | 0 | 50 | 0 | - € | - € | - € | 0,50 € | 89,30 € | 12,76 € |
| Semana 2 | 8 | 50 | 5 | 0 | 0 | 45 | 0 | - € | - € | - € | 0,45 € | 89,75 € | 11,22 € |
| | 9 | 45 | 5 | 0 | 0 | 40 | 0 | - € | - € | - € | 0,40 € | 90,15 € | 10,02 € |
| | 10 | 40 | 5 | 0 | 0 | 35 | 0 | - € | - € | - € | 0,35 € | 90,50 € | 9,05 € |
| | 11 | 35 | 5 | 0 | 0 | 30 | 0 | - € | - € | - € | 0,30 € | 90,80 € | 8,25 € |
| | 12 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 55 | 27,50 € | 60,00 € | - € | 0,25 € | 178,55 € | 14,88 € |
| | 13 | 25 | 5 | 0 | 0 | 20 | 0 | - € | - € | - € | 0,20 € | 178,75 € | 13,75 € |
| | 14 | 20 | 5 | 0 | 0 | 15 | 0 | - € | - € | - € | 0,15 € | 178,90 € | 12,78 € |

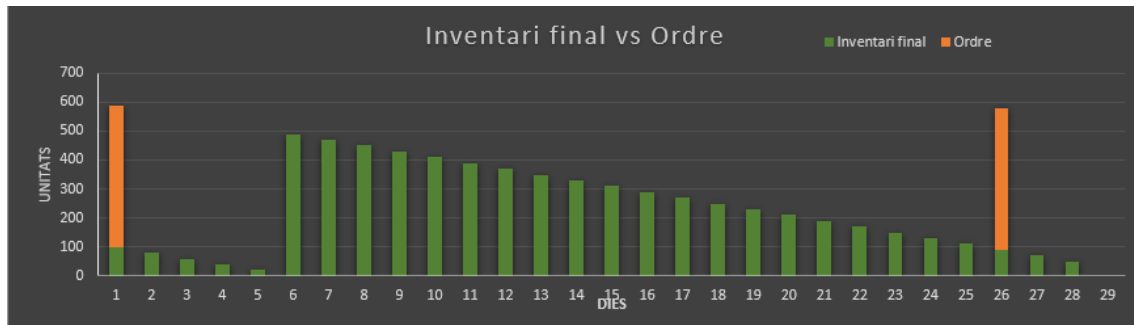
| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|----|---|---|----|----|----|---------|---------|-----|--------|----------|---------|
| Semana 3 | 15 | 15 | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | - € | - € | - € | 0,10 € | 179,00 € | 11,93 € |
| | 16 | 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | - € | - € | - € | 0,05 € | 179,05 € | 11,19 € |
| | 17 | 5 | 5 | 0 | 55 | 55 | 0 | - € | - € | - € | 0,55 € | 179,60 € | 10,56 € |
| | 18 | 55 | 5 | 0 | 0 | 50 | 0 | - € | - € | - € | 0,50 € | 180,10 € | 10,01 € |
| | 19 | 50 | 5 | 0 | 0 | 45 | 0 | - € | - € | - € | 0,45 € | 180,55 € | 9,50 € |
| | 20 | 45 | 5 | 0 | 0 | 40 | 0 | - € | - € | - € | 0,40 € | 180,95 € | 9,05 € |
| | 21 | 40 | 5 | 0 | 0 | 35 | 0 | - € | - € | - € | 0,35 € | 181,30 € | 8,63 € |
| Semana 4 | 22 | 35 | 5 | 0 | 0 | 30 | 0 | - € | - € | - € | 0,30 € | 181,60 € | 8,25 € |
| | 23 | 30 | 5 | 0 | 0 | 25 | 55 | 27,50 € | 60,00 € | - € | 0,25 € | 269,35 € | 11,71 € |
| | 24 | 25 | 5 | 0 | 0 | 20 | 0 | - € | - € | - € | 0,20 € | 269,55 € | 11,23 € |
| | 25 | 20 | 5 | 0 | 0 | 15 | 0 | - € | - € | - € | 0,15 € | 269,70 € | 10,79 € |
| | 26 | 15 | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | - € | - € | - € | 0,10 € | 269,80 € | 10,38 € |
| | 27 | 10 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | - € | - € | - € | 0,05 € | 269,85 € | 9,99 € |
| | 28 | 5 | 5 | 0 | 55 | 55 | 0 | - € | - € | - € | 0,55 € | 270,40 € | 9,66 € |

II·lustració 44: Resultats de la simulació 3

Seguint l'ordre d'aprovisionament descrita de 55 caixes, el cost final de la simulació dels 28 dies ha estat de 270,40€. Aquest cost total correspon a un valor diari que tendeix als 9,66€.

A continuació s'adjunta el conjunt de gràfics corresponents als costos generats durant la simulació.





Il·lustració 25: Gràfics dels resultats de la simulació 3

En primer lloc es pot observar com el cost mig diari s'estabilitza tendint a 9,66 € diaris. En els càlculs teòrics s'havia obtingut un cost de 9,25 €. Aquesta diferència comporta una diferència del cost diari del 4,43 %. Aquest és un valor millor que en el cas de l'ordre de 35 caixes, però pitjor que en el cas de l'ordre de 45 caixes.

En els gràfics s'observa com els costos tenen forma de pics. Això es deu al fet que es fan comandes quan l'estoc arriba al punt de comanda. El cost d'adquisició i el cost de llançament apareixen el dia en què es realitza la simulació. Com que les comandes s'ordenen sempre de la mateixa quantitat, sempre s'obté el mateix cost. En cas estudiat actual, apareixen més pics, ja que s'han de realitzar més comandes perquè la mida de lot ordenada és menor que en el cas anterior.

El cost de falta d'estoc és nul en tota la simulació, ja que ens trobem en el model de Harris-Wilson que no accepta ruptura d'estoc.

El cost de possessió és fluctuant i periòdic. Això és degut al fet que l'estoc disminueix durant els primers dies des de l'inici de la simulació fins que arriba la primera ordre emesa. Quan arriba l'ordre l'estoc augmenta, per tant, el seu cost es dispara per la gran quantitat d'estoc ordenada. Quan torna a disminuir l'estoc, ho fa conseqüentment el seu cost. Un cop estabilitzat el primer tram de reducció d'estoc fins que arriba la primera comanda emesa, el cost de possessió es comporta de manera periòdica.

L'últim dels gràfics que es mostren indica l'inventari diari final i l'ordre emesa. Es pot veure com en un primer terme es fa l'ordre quan l'estoc disponible arriba al valor de punt de comanda $s=25$ caixes, això succeeix el primer dia. A partir d'aquest moment, es realitzen comandes amb una mida de lot de 55 caixes els dies en què l'estoc final arriba a les 25 caixes. Es pot observar com en aquest cas, un cop comencen a arribar les comandes emeses, hi ha una disminució constant en l'estoc disponible.

Un cop realitzades les tres simulacions per demanda homogènia, s'ha vist que els costos han estat els següents:

| | Cost total |
|------------------------|------------|
| Harris-Wilson | 259,04 € |
| Ordre 35 caixes | 315,60 € |
| Ordre 45 caixes | 254,50 € |
| Ordre 55 caixes | 270,40 € |

Tabla 3: Taula comparativa de costos

A partir de la taula s'observa com el cas de l'ordre de 45 caixes és la que té el cost total menor i, per tant, es la que és més proper al model de Harris-Wilson. Poder dir doncs, que l'ordre de Q=45 caixes és la que més s'apropa a l'òptim.

8.1. Demanda homogènia en camió

Per realitzar les simulacions d'aquest primer tipus de demanda, en primer lloc s'ha de calcular el valor de la grandària de lot òptim segons el model de Harris-Wilson.

| COSTOS BÀSICS | | TRANSPORT | | CONDICIONS MAGATZEM | | ALTRES DADES | |
|------------------------------|---------------|----------------------------|------------------|------------------------------|----------------|--------------------------------|------------|
| Llançament (CL) | 0 €/Caixa | Cost furgoneta | 60 €/llançament | Capacitat | 1000 caixes | Termini d'entrega | 4 dies |
| Adquisició (CA) | 0,5 €/Caixa | Capacitat furgoneta | 500 caixes | Emmagatzemament extra | 2 €/dia | Estoc inicial | 600 caixes |
| Possessió (CS) | 0,004 €/Caixa | Cost camió | 230 €/llançament | TIPUS DEMANDA | | Duració de la simulació | 28 dies |
| Demanda diferida (CD) | 0,1 €/Caixa | Capacitat camió | 2000 caixes | Homogènia | D = 120 caixes | | |

Tabla 4: Taula dades simulació demanda homogènia transport camió

Per fer-ho es calcula el valor de la demanda mensual com:

$$D = D_{diaria} \cdot 28 \text{ dies} = 3.360 \text{ caixes}$$

Equació 12: Càlcul demanda mensual

D'aquesta manera, s'ha pres com a cost de llançament el cost d'utilitzar la furgoneta. Segons aquestes dades, la grandària de lot i el punt de comanda són els següents:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot CL \cdot D}{Cs}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 230 \cdot 120}{0,004 \cdot 28}} = 700 \text{ caixes}$$

Equació 13: Càlcul de la mida de lot amb furgoneta

$$s = L \cdot D = (4 + 1) \cdot 120 = 600 \text{ caixes}$$

Equació 14: Càlcul del punt de comanda

Com s'ha vist prèviament, la capacitat de la furgoneta és de 500 unitats, de manera que aquest valor està fora de la seva capacitat i s'utilitzarà el camió com a transport. En primer lloc s'ha de calcular la freqüència de reaprovisionament (N):

$$N = \frac{D}{Q} = \frac{3.360}{700} = 4,8 \frac{\text{llançaments}}{\text{mes}}$$

Equació 15: Càlcul de la freqüència de reaprovisionament

Realitzant els càlculs teòrics d'aprovisionament s'obtindrien el cost de llançament (KL), cost d'adquisició (KA) i cost de possessió (KS) mensuals de:

$$KL = N \cdot CL = 1.104 \text{ €}$$

$$KA = CA \cdot D = 1.680 \text{ €}$$

$$KS = CS \cdot \frac{Q}{2} = 1,4 \text{ €}$$

$$\text{Cost Total} = \sum K = 2.785,4 \text{ €}$$

Equació 16: Càlcul cost total mensual



S'ha decidit realitzar tres jocs de dades diferents per comparar els costos obtinguts i veure quina és la grandària de lot més adient en aquest cas segons els costos generats. Els tres casos estudiats seran els següents:



- Ordre de 600 caixes
- Ordre de 700 caixes
- Ordre de 800 caixes

8.2.1. Ordre de 600 caixes

El primer cas que s'estudia és el cas en què la mida de lot s'ha aproximat a les 600 caixes i, per tant, el transport s'efectua en furgoneta. Les dades utilitzades per la simulació han estat les següents:

En aquest cas, Q= 600 caixes i el punt de comanda de 4.000 caixes. Realitzant la simulació amb els valors esmentats anteriorment s'han obtingut els valors següents:

 Nova Simulació
  Avanç dia

| Tipus demanda | Dia | Cost total | Nom simulació | Inventari entrant | | 600 |
|---------------|-----|------------|---------------|-------------------|--|-----|
| Homogènia | 28 | 3.220,32 € | | Inventari actual | | 360 |

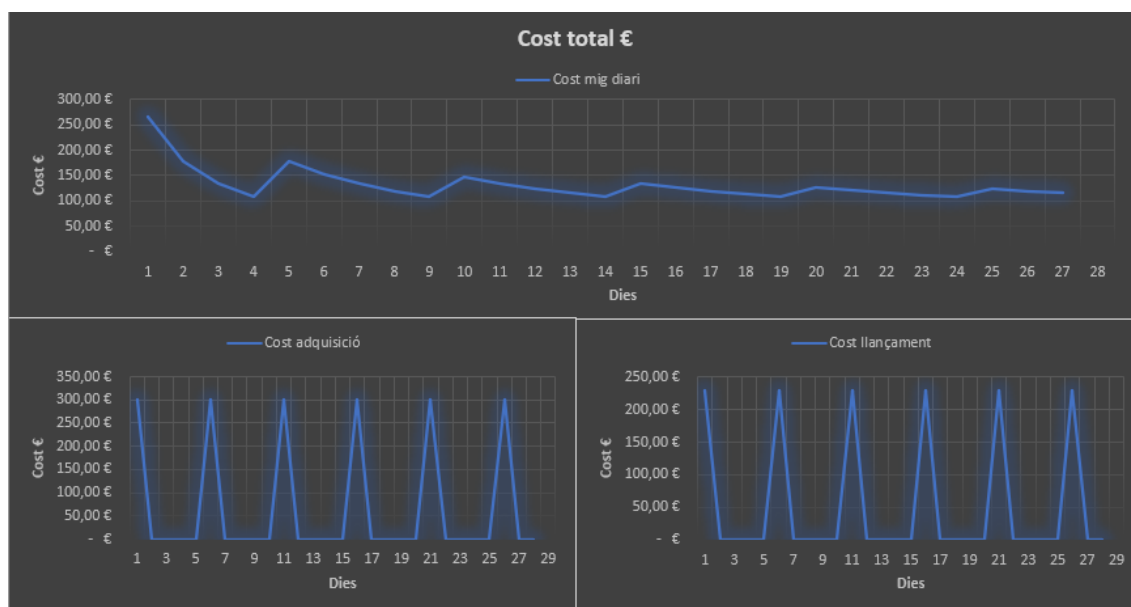
| Disponibilitat de caixes | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0 | 600 | 0 |

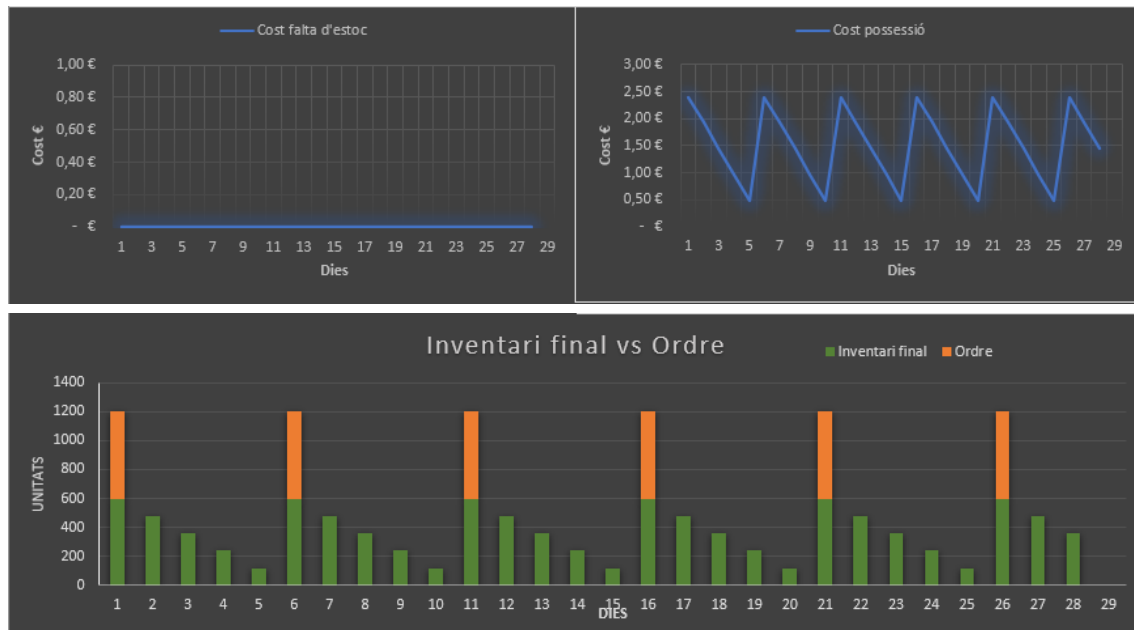
| Dia | Inventari inicial | Demanda | Falta d'estoc | Ordre rebuda | Inventari final | Ordre | Cost adquisició | Cost llançament | Cost falta d'estoc | Cost possessió | Cost acumulat | Cost mig diari |
|----------|-------------------|---------|---------------|--------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------|---------------|----------------|
| Semana 1 | 1 | 720 | 120 | 0 | 0 | 600 | 600 | 300,00 € | 230,00 € | - € | 2,40 € | 532,40 € |
| | 2 | 600 | 120 | 0 | 0 | 480 | 0 | - € | - € | - € | 1,92 € | 534,32 € |
| | 3 | 480 | 120 | 0 | 0 | 360 | 0 | - € | - € | - € | 1,44 € | 535,76 € |
| | 4 | 360 | 120 | 0 | 0 | 240 | 0 | - € | - € | - € | 0,96 € | 536,72 € |
| | 5 | 240 | 120 | 0 | 0 | 120 | 0 | - € | - € | - € | 0,48 € | 537,20 € |
| | 6 | 120 | 120 | 0 | 600 | 600 | 600 | 300,00 € | 230,00 € | - € | 2,40 € | 1.069,60 € |
| | 7 | 600 | 120 | 0 | 0 | 480 | 0 | - € | - € | - € | 1,92 € | 1.071,52 € |
| Semana 2 | 8 | 480 | 120 | 0 | 0 | 360 | 0 | - € | - € | - € | 1,44 € | 1.072,96 € |
| | 9 | 360 | 120 | 0 | 0 | 240 | 0 | - € | - € | - € | 0,96 € | 1.073,92 € |
| | 10 | 240 | 120 | 0 | 0 | 120 | 0 | - € | - € | - € | 0,48 € | 1.074,40 € |
| | 11 | 120 | 120 | 0 | 600 | 600 | 600 | 300,00 € | 230,00 € | - € | 2,40 € | 1.606,80 € |
| | 12 | 600 | 120 | 0 | 0 | 480 | 0 | - € | - € | - € | 1,92 € | 1.608,72 € |
| | 13 | 480 | 120 | 0 | 0 | 360 | 0 | - € | - € | - € | 1,44 € | 1.610,16 € |
| | 14 | 360 | 120 | 0 | 0 | 240 | 0 | - € | - € | - € | 0,48 € | 1.611,60 € |
| Semana 3 | 15 | 240 | 120 | 0 | 0 | 120 | 0 | - € | - € | - € | 0,48 € | 1.611,60 € |
| | 16 | 120 | 120 | 0 | 600 | 600 | 600 | 300,00 € | 230,00 € | - € | 2,40 € | 2.144,00 € |
| | 17 | 600 | 120 | 0 | 0 | 480 | 0 | - € | - € | - € | 1,92 € | 2.145,92 € |
| | 18 | 480 | 120 | 0 | 0 | 360 | 0 | - € | - € | - € | 1,44 € | 2.147,36 € |
| | 19 | 360 | 120 | 0 | 0 | 240 | 0 | - € | - € | - € | 0,96 € | 2.148,32 € |
| | 20 | 240 | 120 | 0 | 0 | 120 | 0 | - € | - € | - € | 0,48 € | 2.148,80 € |
| | 21 | 120 | 120 | 0 | 600 | 600 | 600 | 300,00 € | 230,00 € | - € | 2,40 € | 2.681,20 € |
| Semana 4 | 22 | 600 | 120 | 0 | 0 | 480 | 0 | - € | - € | - € | 1,92 € | 2.683,12 € |
| | 23 | 480 | 120 | 0 | 0 | 360 | 0 | - € | - € | - € | 1,44 € | 2.684,56 € |
| | 24 | 360 | 120 | 0 | 0 | 240 | 0 | - € | - € | - € | 0,96 € | 2.685,52 € |
| | 25 | 240 | 120 | 0 | 0 | 120 | 0 | - € | - € | - € | 0,48 € | 2.686,00 € |
| | 26 | 120 | 120 | 0 | 600 | 600 | 600 | 300,00 € | 230,00 € | - € | 2,40 € | 3.218,40 € |
| | 27 | 600 | 120 | 0 | 0 | 480 | 0 | - € | - € | - € | 1,92 € | 3.220,32 € |
| | 28 | 480 | 120 | 0 | 0 | 360 | 0 | - € | - € | - € | 1,44 € | 3.221,76 € |

Il·lustració 56: Resultats de la simulació 4

Seguint l'ordre d'aprovisionament descrita de 600 caixes, el cost final de la simulació dels 28 dies ha estat de 3.221,76 €. Aquest cost total correspon a un valor mig de 107,5 € diaris. Podem dir que la simulació real s'apropa al model ideal, amb aquests valors comporten un error del 15,66%.

A continuació s'adjunta el conjunt de gràfics corresponents als costos generats durant la simulació.





Il·lustració 27: Gràfics dels resultats de la simulació 4

En primer lloc es pot observar com el cost mig diari s'estabilitza tendint a 107 € diaris. En els càlculs teòrics s'havia obtingut un cost de 99,5 €. Aquesta diferència comporta una diferència del cost diari del 7,54%, un valor proper del valor òptim trobat per Harris-Wilson.

En els gràfics s'observa com els costos tenen forma de pics. Això es deu al fet que es fan comandes quan l'estoc arriba al punt de comanda. El cost d'adquisició i el cost de llançament apareixen el dia en què es realitza la simulació. Com que les comandes s'ordenen sempre de la mateixa quantitat, sempre s'obtindrà el mateix cost.

El cost de falta d'estoc és nul en tota la simulació, ja que ens trobem en el model de Harris-Wilson que no accepta ruptura d'estoc.





El cost de possessió és fluctuant i periòdic. Això és degut al fet que l'estoc disminueix durant els primers dies des de l'inici de la simulació fins que arriba la primera ordre emesa. Quan arriba l'ordre l'estoc augmenta, per tant, el seu cost es dispara per la gran quantitat d'estoc ordenada. Quan torna a disminuir l'estoc, ho fa conseqüentment el seu cost. Un cop estabilitzat el primer tram de reducció d'estoc fins que arriba la primera comanda emesa, el cost de possessió es comporta de manera periòdica.

L'últim dels gràfics que es mostren indica l'inventari diari final i l'ordre emesa. Es pot veure com en un primer terme es fa l'ordre quan l'estoc disponible arriba al valor de punt de comanda $s=600$ caixes, això succeeix el primer dia. A partir d'aquest moment, es realitzen comandes amb una mida de lot de 600 caixes els dies en què l'estoc final arriba a les 600 caixes. Es pot observar com en aquest cas, un cop comencen a arribar les comandes emeses, hi ha una disminució constant en l'estoc disponible.

8.2.2. Ordre de 700 caixes

El primer cas que s'estudia és el cas en què la mida de lot s'ha aproximat a les 700 caixes i, per tant, el transport s'efectua en furgoneta. Les dades utilitzades per la simulació han estat les següents:

En aquest cas, $Q = 700$ caixes i el punt de comanda de 600 caixes. Realitzant la simulació amb els valors esmentats anteriorment s'han obtingut els valors següents:

 Nova Simulació
  Avanç dia
 


| Tipus demanda | Dia | Cost total | Nom simulació | Inventari entrant | | 700 |
|---------------|-----|------------|---------------|-------------------|--|-----|
| homogènia | 28 | 2.300,32 € | | Inventari actual | | 160 |

| Disponibilitat de caixes | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 700 | 0 | 0 | 0 |

| | Dia | Inventari inicial | Demanda | Falta d'estoc | Ordre rebuda | Inventari final | Ordre | Cost adquisició | Cost lliançament | Cost falta d'estoc | Cost possessió | Cost acumulat | Cost mig diari |
|-----------|-----|-------------------|---------|---------------|--------------|-----------------|-------|-----------------|------------------|--------------------|----------------|---------------|----------------|
| Setmana 1 | 1 | 720 | 120 | 0 | 0 | 600 | 700 | 350,00 € | 230,00 € | - € | 2,40 € | 582,40 € | 582,40 € |
| | 2 | 600 | 120 | 0 | 0 | 480 | 0 | - € | - € | - € | 1,92 € | 584,32 € | 292,16 € |
| | 3 | 480 | 120 | 0 | 0 | 360 | 0 | - € | - € | - € | 1,44 € | 585,76 € | 195,25 € |
| | 4 | 360 | 120 | 0 | 0 | 240 | 0 | - € | - € | - € | 0,96 € | 586,72 € | 146,68 € |
| | 5 | 240 | 120 | 0 | 0 | 120 | 0 | - € | - € | - € | 0,48 € | 587,20 € | 117,44 € |
| | 6 | 120 | 120 | 0 | 700 | 700 | 700 | 350,00 € | 230,00 € | - € | 2,80 € | 1.170,00 € | 195,00 € |
| | 7 | 700 | 120 | 0 | 0 | 580 | 0 | - € | - € | - € | 2,32 € | 1.172,32 € | 167,47 € |
| Setmana 2 | 8 | 580 | 120 | 0 | 0 | 460 | 0 | - € | - € | - € | 1,84 € | 1.174,16 € | 146,77 € |
| | 9 | 460 | 120 | 0 | 0 | 340 | 0 | - € | - € | - € | 1,36 € | 1.175,52 € | 130,61 € |
| | 10 | 340 | 120 | 0 | 0 | 220 | 0 | - € | - € | - € | 0,88 € | 1.176,40 € | 117,64 € |
| | 11 | 220 | 120 | 0 | 700 | 800 | 0 | - € | - € | - € | 3,20 € | 1.179,60 € | 107,24 € |
| | 12 | 800 | 120 | 0 | 0 | 680 | 700 | 350,00 € | 230,00 € | - € | 2,72 € | 1.762,32 € | 146,86 € |
| | 13 | 680 | 120 | 0 | 0 | 560 | 0 | - € | - € | - € | 2,24 € | 1.764,56 € | 135,74 € |
| | 14 | 560 | 120 | 0 | 0 | 440 | 0 | - € | - € | - € | 1,76 € | 1.766,32 € | 126,17 € |
| Setmana 3 | 15 | 440 | 120 | 0 | 0 | 320 | 0 | - € | - € | - € | 1,28 € | 1.767,60 € | 117,84 € |
| | 16 | 320 | 120 | 0 | 0 | 200 | 0 | - € | - € | - € | 0,80 € | 1.768,40 € | 110,53 € |
| | 17 | 200 | 120 | 0 | 700 | 780 | 0 | - € | - € | - € | 3,12 € | 1.771,52 € | 104,21 € |
| | 18 | 780 | 120 | 0 | 0 | 660 | 700 | 350,00 € | 230,00 € | - € | 2,64 € | 2.354,16 € | 130,79 € |
| | 19 | 660 | 120 | 0 | 0 | 540 | 0 | - € | - € | - € | 2,16 € | 2.356,32 € | 124,02 € |
| | 20 | 540 | 120 | 0 | 0 | 420 | 0 | - € | - € | - € | 1,68 € | 2.358,00 € | 117,90 € |
| | 21 | 420 | 120 | 0 | 0 | 300 | 0 | - € | - € | - € | 1,20 € | 2.359,20 € | 112,34 € |
| Setmana 4 | 22 | 300 | 120 | 0 | 0 | 180 | 0 | - € | - € | - € | 0,72 € | 2.359,92 € | 107,27 € |
| | 23 | 180 | 120 | 0 | 700 | 760 | 0 | - € | - € | - € | 3,04 € | 2.362,96 € | 102,74 € |
| | 24 | 760 | 120 | 0 | 0 | 640 | 700 | 350,00 € | 230,00 € | - € | 2,56 € | 2.945,52 € | 122,73 € |
| | 25 | 640 | 120 | 0 | 0 | 520 | 0 | - € | - € | - € | 2,08 € | 2.947,60 € | 117,90 € |
| | 26 | 520 | 120 | 0 | 0 | 400 | 0 | - € | - € | - € | 1,60 € | 2.949,20 € | 113,43 € |
| | 27 | 400 | 120 | 0 | 0 | 280 | 0 | - € | - € | - € | 1,12 € | 2.950,32 € | 109,27 € |
| | 28 | 280 | 120 | 0 | 0 | 160 | 0 | - € | - € | - € | 0,64 € | 2.950,96 € | 105,39 € |

II-lustració 28: Resultats de la simulació 5

Seguint l'ordre d'aprovisionament descrita de 700 caixes, el cost final de la simulació dels 28 dies ha estat de 2950,96 €. Aquest cost total correspon a un valor mig de 102,5 € diaris. Podem dir que la simulació real s'apropa al model ideal, amb aquests valors comporten un error del 5,94%.

A continuació s'adjunta el conjunt de gràfics corresponents als costos generats durant la simulació.



II·l·lustració 29: Gràfics dels resultats de la simulació 5

En primer lloc es pot observar com el cost mig diari s'estabilitza tendint a 104 € diaris. En els càlculs teòrics s'havia obtingut un cost de 99,5 €. Aquesta diferència comporta una diferència del cost diari del 4,54%, un valor força proper del valor òptim trobat per Harris-Wilson.

En els gràfics s'observa com els costos tenen forma de pics. Això es deu al fet que es fan comandes quan l'estoc arriba al punt de comanda. El cost d'adquisició i el cost de llançament apareixen el dia en què es realitza la simulació. Com que les comandes s'ordenen sempre de la mateixa quantitat, sempre s'obtindrà el mateix cost.

El cost de falta d'estoc és nul en tota la simulació, ja que ens trobem en una simulació de demanda homogènia sense ruptura d'estoc.






El cost de possessió és fluctuant i periòdic. Això és degut al fet que l'estoc disminueix durant els primers dies des de l'inici de la simulació fins que arriba la primera ordre emesa. Quan arriba l'ordre l'estoc augmenta, per tant, el seu cost es dispara per la gran quantitat d'estoc ordenada. Quan torna a disminuir l'estoc, ho fa conseqüentment el seu cost. Un cop estabilitzat el primer tram de reducció d'estoc fins que arriba la primera comanda emesa, el cost de possessió es comporta de manera periòdica.

L'últim dels gràfics que es mostren indica l'inventari diari final i l'ordre emesa. Es pot veure com en un primer terme es fa l'ordre quan l'estoc disponible arriba al valor de punt de comanda $s=600$ caixes, això succeeix el primer dia. A partir d'aquest moment, es realitzen comandes amb una mida de lot de 700 caixes els dies en què l'estoc final arriba a les 600 caixes. Es pot observar com en aquest cas, un cop comencen a arribar les comandes emeses, hi ha una disminució constant en l'estoc disponible.

8.2.3. Ordre de 800 caixes

El primer cas que s'estudia és el cas en què la mida de lot s'ha aproximat a les 700 caixes i, per tant, el transport s'efectua en furgoneta. Les dades utilitzades per la simulació han estat les següents:

En aquest cas, $Q=700$ caixes i el punt de comanda de 600 caixes. Realitzant la simulació amb els valors esmentats anteriorment s'han obtingut els valors següents:

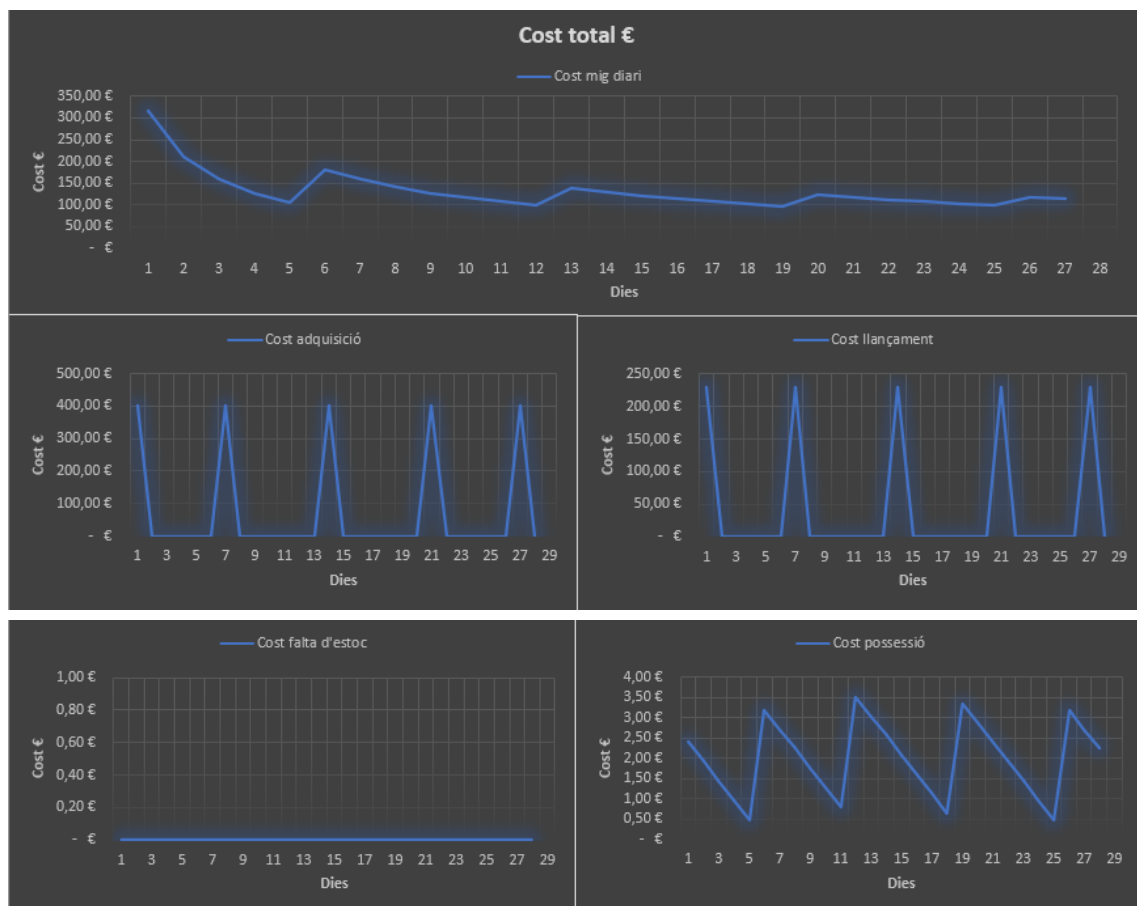
|  |  Nova Simulació |  Avanç dia |   | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|-------------------|--------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|--------------------|-------------------|---------------|----------------|-----------|----|------------|--|------------------|--|-----|---|--|--|--|--|--|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--|---|---|---|-----|
| <table><tr><th>Tipus demanda</th><th>Dia</th><th>Cost total</th><th>Nom simulació</th><th>Inventari entrant</th><th></th><th>800</th></tr><tr><td>Homogènia</td><td>28</td><td>3.203,12 €</td><td></td><td>Inventari actual</td><td></td><td>560</td></tr></table> | | | | | | | Tipus demanda | Dia | Cost total | Nom simulació | Inventari entrant | | 800 | Homogènia | 28 | 3.203,12 € | | Inventari actual | | 560 | <table><tr><th>Disponibilitat de caixes</th><th>Dia 1</th><th>Dia 2</th><th>Dia 3</th><th>Dia 4</th></tr><tr><td></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>800</td></tr></table> | | | | | | Disponibilitat de caixes | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | | 0 | 0 | 0 | 800 |
| Tipus demanda | Dia | Cost total | Nom simulació | Inventari entrant | | 800 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Homogènia | 28 | 3.203,12 € | | Inventari actual | | 560 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Disponibilitat de caixes | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | 800 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Dia | Inventari inicial | Demanda | Falta d'estoc | Ordre rebuda | Inventari final | Ordre | Cost adquisició | Cost llançament | Cost falta d'estoc | Cost possessió | Cost acumulat | Cost mig diari | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Semana 1 | 1 | 720 | 120 | 0 | 0 | 600 | 800 | 400,00 € | 230,00 € | - € | 2,40 € | 632,40 € | 632,40 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | 600 | 120 | 0 | 0 | 480 | 0 | - € | - € | - € | 1,92 € | 634,32 € | 317,16 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | 480 | 120 | 0 | 0 | 360 | 0 | - € | - € | - € | 1,44 € | 635,76 € | 211,92 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | 360 | 120 | 0 | 0 | 240 | 0 | - € | - € | - € | 0,96 € | 636,72 € | 159,18 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | 240 | 120 | 0 | 0 | 120 | 0 | - € | - € | - € | 0,48 € | 637,20 € | 127,44 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | 120 | 120 | 0 | 800 | 800 | 0 | - € | - € | - € | 3,20 € | 640,40 € | 106,73 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | 800 | 120 | 0 | 0 | 680 | 800 | 400,00 € | 230,00 € | - € | 2,72 € | 1.273,12 € | 181,87 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Semana 2 | 8 | 680 | 120 | 0 | 0 | 560 | 0 | - € | - € | - € | 2,24 € | 1.275,36 € | 159,42 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | 560 | 120 | 0 | 0 | 440 | 0 | - € | - € | - € | 1,76 € | 1.277,12 € | 141,90 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 440 | 120 | 0 | 0 | 320 | 0 | - € | - € | - € | 1,28 € | 1.278,40 € | 127,84 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | 320 | 120 | 0 | 0 | 200 | 0 | - € | - € | - € | 0,80 € | 1.279,20 € | 116,29 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | 200 | 120 | 0 | 800 | 880 | 0 | - € | - € | - € | 3,52 € | 1.282,72 € | 106,89 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | 880 | 120 | 0 | 0 | 760 | 0 | - € | - € | - € | 3,04 € | 1.285,76 € | 98,90 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | 760 | 120 | 0 | 0 | 640 | 800 | 400,00 € | 230,00 € | - € | 2,56 € | 1.918,32 € | 137,02 € | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

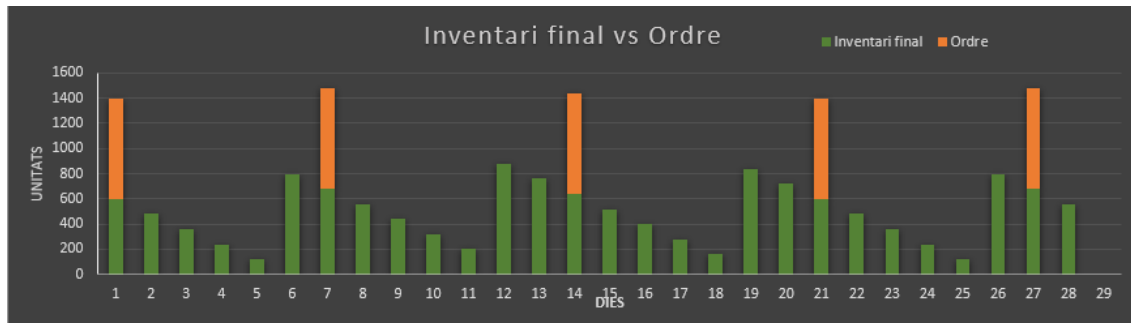
| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|-----|-----|---|-----|-----|-----|----------|----------|-----|--------|------------|----------|
| Semana 3 | 15 | 640 | 120 | 0 | 0 | 520 | 0 | - € | - € | - € | 2,08 € | 1.920,40 € | 128,03 € |
| | 16 | 520 | 120 | 0 | 0 | 400 | 0 | - € | - € | - € | 1,60 € | 1.922,00 € | 120,13 € |
| | 17 | 400 | 120 | 0 | 0 | 280 | 0 | - € | - € | - € | 1,12 € | 1.923,12 € | 113,12 € |
| | 18 | 280 | 120 | 0 | 0 | 160 | 0 | - € | - € | - € | 0,64 € | 1.923,76 € | 106,88 € |
| | 19 | 160 | 120 | 0 | 800 | 840 | 0 | - € | - € | - € | 3,36 € | 1.927,12 € | 101,43 € |
| | 20 | 840 | 120 | 0 | 0 | 720 | 0 | - € | - € | - € | 2,88 € | 1.930,00 € | 96,50 € |
| | 21 | 720 | 120 | 0 | 0 | 600 | 800 | 400,00 € | 230,00 € | - € | 2,40 € | 2.562,40 € | 122,02 € |
| Semana 4 | 22 | 600 | 120 | 0 | 0 | 480 | 0 | - € | - € | - € | 1,92 € | 2.564,32 € | 116,56 € |
| | 23 | 480 | 120 | 0 | 0 | 360 | 0 | - € | - € | - € | 1,44 € | 2.565,76 € | 111,55 € |
| | 24 | 360 | 120 | 0 | 0 | 240 | 0 | - € | - € | - € | 0,96 € | 2.566,72 € | 106,95 € |
| | 25 | 240 | 120 | 0 | 0 | 120 | 0 | - € | - € | - € | 0,48 € | 2.567,20 € | 102,69 € |
| | 26 | 120 | 120 | 0 | 800 | 800 | 0 | - € | - € | - € | 3,20 € | 2.570,40 € | 98,86 € |
| | 27 | 800 | 120 | 0 | 0 | 680 | 800 | 400,00 € | 230,00 € | - € | 2,72 € | 3.203,12 € | 118,63 € |
| | 28 | 680 | 120 | 0 | 0 | 560 | 0 | - € | - € | - € | 2,24 € | 3.205,36 € | 114,48 € |

II·lustració 30: Resultats de la simulació 6

Seguint l'ordre d'aprovisionament descrita de 800 caixes, el cost final de la simulació dels 28 dies ha estat de 3205,36 €. Aquest cost total correspon a un valor mig de 102,5 € diaris. Podem dir que la simulació real s'apropa al model ideal, amb aquests valors comporten un error del 15,07%.

A continuació s'adjunta el conjunt de gràfics corresponents als costos generats durant la simulació:





Il·lustració 31: Gràfics dels resultats de la simulació 5

En primer lloc es pot observar com el cost mig diari s'estabilitza tendint a 105 € diaris. En els càlculs teòrics s'havia obtingut un cost de 99,5 €. Aquesta diferència comporta una diferència del cost diari del 5,53%, un valor força proper del valor òptim trobat per Harris-Wilson.

En els gràfics s'observa com els costos tenen forma de pics. Això es deu al fet que es fan comandes quan l'estoc arriba al punt de comanda. El cost d'adquisició i el cost de llançament apareixen el dia en què es realitza la simulació. Com que les comandes s'ordenen sempre de la mateixa quantitat, sempre s'obtindrà el mateix cost.

El cost de falta d'estoc és nul en tota la simulació, ja que ens trobem en el model de Harris-Wilson que no accepta ruptura d'estoc.

El cost de possessió és fluctuant i periòdic. Això és degut al fet que l'estoc disminueix durant els primers dies des de l'inici de la simulació fins que arriba la primera ordre emesa. Quan arriba l'ordre l'estoc augmenta, per tant, el seu cost es dispara per la gran quantitat d'estoc ordenada. Quan torna a disminuir l'estoc, ho fa conseqüentment el seu cost. Un cop estabilitzat el primer tram de reducció d'estoc fins que arriba la primera comanda emesa, el cost de possessió es comporta de manera periòdica.

L'últim dels gràfics que es mostren indica l'inventari diari final i l'ordre emesa. Es pot veure com en un primer terme es fa l'ordre quan l'estoc disponible arriba al valor de punt de comanda $s=600$ caixes, això succeeix el primer dia. A partir d'aquest moment, es realitzen comandes amb una mida de lot de 800 caixes els dies en què l'estoc final arriba a les 600 caixes. Es pot observar com en aquest cas, un cop comencen a arribar les comandes emeses, hi ha una disminució constant en l'estoc disponible.

Un cop realitzades les tres simulacions per demanda homogènia, s'ha vist que els costos han estat els següents:

| | Cost total |
|-------------------------|-------------------|
| Harris-Wilson | 2.785,4 € |
| Ordre 600 caixes | 3.221,76 € |
| Ordre 700 caixes | 2.950,96 € |
| Ordre 800 caixes | 3.205,36 € |

Tabla 4: Taula comparativa de costos

A partir de la taula s'observa com el cas de l'ordre de 700 caixes és la que té el cost total menor i, per tant, és la que és més proper al model de Harris-Wilson. Poder dir doncs, que l'ordre de $Q=700$ caixes és la que més s'apropa a l'òptim.

9. Anàlisi econòmic

Per a la realització d'aquest projecte, el cost principal ha estat el cost del temps de disseny i desenvolupament de l'eina.

Amb un temps de programació per desenvolupar el software de 400 h aproximadament i un cost horari de 12 €/hora, preu estàndard d'un consultor junior, resulta una inversió de 4.800 €. A aquesta inversió se li ha d'afegir el cost de 100€ de la llicència informàtica de Microsoft d'un any. Obtenint una inversió final de 4.900 €.

Per calcular el període de retorn i la rendibilitat del projecte, es té en compte que l'eina s'usarà en les pràctiques de l'assignatura d'Organització i Gestió dels pròxims 5 anys. Amb un nombre mitjà de 300 alumnes per any durant 5 anys, l'eina serà usada per uns 1.500 alumnes. Fent l'estudi de rendibilitat suposant un cost de 5€ per llicència i estudiant:

| <i>Projecte</i> | <i>0</i> | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
| Inversió | 4.900,00 € | - € | - € | - € | - € | - € |
| Subscriptors | | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Ingressos | | 1.500,00 € | 1.500,00 € | 1.500,00 € | 1.500,00 € | 1.500,00 € |
| Costos | 4.900,00 € | - € | - € | - € | - € | - € |
| Cash Flow | - 4.900,00 € | 1.500,00 € | 1.500,00 € | 1.500,00 € | 1.500,00 € | 1.500,00 € |
| CF Actualitzat | - 4.900,00 € | 1.363,64 € | 1.239,67 € | 1.126,97 € | 1.024,52 € | 931,38 € |
| FT Acumulat | - 4.900,00 € | - 3.536,36 € | - 2.296,69 € | - 1.169,72 € | - 145,20 € | 786,18 € |

Tabla 5: Estudi de viabilitat del projecte

A partir de la taula anterior s'obté les dades següents:

| | |
|-----|----------|
| VAN | 786,18 € |
| TIR | 6% |
| PR | 3,27 |

A partir d'aquests valors veiem com aquest projecte seria rendible en 5 anys, ja que el VAN en aquest horitzó és positiu. El TIR és menor al tipus d'interès utilitzat per fer l'estudi (10%). En aquest cas s'obté un TIR del 6%, per tant, la inversió seguiria sent rendible. El període de retorn obtingut seria de 3,27 anys, un període relativament competitiu.

A partir d'aquests càlculs, s'ha decidit que el preu per llicència que més s'adapta a les necessitats demandades és de 5 €/llicència.

Fent un estudi de mercat, s'ha trobat la pàgina web "*Simuladores Empresariales*" que proporciona dos simuladors de gestió empresarial. Els jocs que proporcionen són:

- BussGame: Un simulador de gestió empresarial amb una interfície gràfica que integra tota la informació rellevant per a un procés de presa de decisions. Permet experimentar les relacions entre les diferents àrees de l'empresa y l'impacte que totes elles tenen en l'acció comercial.
- SIMBA: Un simulador estratègic, centrat en l'operativa d'una empresa amb totes les seves unitats funcionals. És adaptable a diferents escenaris econòmics, múltiples mercats geogràfics, parametrizable a mida i en múltiples idiomes.

Aquest segon joc de simulació és el més similar que s'ha trobat al mercat respecte el joc desenvolupat. A partir de l'estudi de mercat realitzat, s'ha conclòs que el preu per llicència i la viabilitat de l'eina són satisfactoris.

10. Ergonomia i anàlisi mediambiental

En el següent punt s'estudiarà l'ergonomia del programa desenvolupat i l'anàlisi mediambiental d'aquest.

10.1. Ergonomia

S'entén com ergonomia aquella disciplina tecnològica que s'ocupa de la comprensió de les interaccions entre humans i altres elements del sistema. Aquesta ergonomia pretén que la interacció amb el software sigui més comprensible per l'usuari per tal que s'obtingui per aquest el millor resultat en accés, confiança, seguretat i eficiència.

Els 7 principis bàsics de l'ergonomia del software són:

- 1) **Adequat per a la realització de tasques:** El software ha de tenir les eines necessàries per a realitzar el treball per al qual han estat dissenyades.
- 2) **Auto descriptiu:** Es considera que ho és quan és intuïtiu, comprensible i fàcil de fer servir.
- 3) **Controlable:** Ha de permetre a l'usuari cancel·lar accions que hagi iniciat o aturar processos en qualsevol moment.
- 4) **Conforme a les explicacions de l'usuari:** El software ha de complir amb les funcions que promet i amb les funcions pressuposades com el correcte funcionament.
- 5) **Tolerant amb els errors de l'usuari:** El mateix software ha de ser capaç de prevenir a l'usuari per tal d'evitar errors d'execució.
- 6) **Personalitzable per l'usuari:** El software ha de poder-se personalitzar el més possible.
- 7) **Fàcil d'aprendre per l'usuari:** S'han d'oferir explicacions de la manera més senzilla possible a l'usuari per tal que la corba d'aprenentatge sigui com més ràpida millor.

El software desenvolupat compleix amb aquests principis en major o menor mesura i, per tant, presenta una bona ergonomia.

10.2. Anàlisi mediambiental

La realització d'aquest projecte no ha produït cap mena d'impacte ambiental. Els avantatges de la realització de l'eina de simulació ha permès poder reduir la utilització de paper en l'estudi dels models estudiats.

Suposant la utilització de 2 fulles per alumne i a partir dels supòsits de què l'eina serà utilitzada per 300 estudiants a l'any, s'obté que s'estalviaran un total de:

$$N^{\circ} \text{ fulles paper} = 2 \frac{\text{fulles}}{\text{alumne}} * 300 \frac{\text{alumnes}}{\text{any}} * 5 \text{ anys} = 3.000 \text{ fulles}$$

Equació 17: Càlcul del nombre de fulles de paper utilitzades en 5 anys

Suposant que cada fulla té un pes de 5 g, obtindrem un pes total de:

$$\text{Pes paper} = 5 \frac{\text{g}}{\text{fulla}} * 3000 \text{ fulles} = 15.000\text{g} = 15\text{kg}$$

Equació 18: Càlcul del pes del nombre de fulles de paper utilitzades en 5 anys

Per produir aquesta quantitat de paper s'ha de tenir en compte els següents supòsits:

- Una fulla de paper necessita 370 cm³ d'aigua
- Un 10% de l'aigua utilitzada és molt contaminant i s'aboca als rius
- Un arbre produeix 8.333 fulles aproximadament

A partir d'aquests supòsits, desenvolupant l'eina s'han estalviat en:

- La utilització de 1.110 litres d'aigua, dels quals més de 100 litres són d'aigua molt contaminant
- S'ha evitat la tala d' 1,8 arbres

Conclusions

En aquest Treball de Fi de Grau (TFG) s'ha desenvolupat una eina de simulació i com a conclusió s'ha decidit revisar els objectius marcats i avaluar si aquests s'han complert.

L'objectiu principal del projecte era el disseny d'un programa informàtic que permetés fer les pràctiques de l'assignatura. Aquest objectiu s'ha complert, ja que s'ha pogut desenvolupar aquesta eina.

Per poder preparar la pràctica, s'ha decidit fer en primer lloc una revisió dels models d'aprovisionament d'estoc estudiats al Grau d'Organització i Gestió com el model de Harris-Wilson per punt de comanda i per aprovisionament periòdic. També s'ha estudiat el model de demanda aleatòria seguint una llei normal.

S'ha procedit a elegir i descriure un problema que permeti desenvolupar la pràctica proposta per tal que l'alumnat pugui adquirir experiència en la presa de decisions d'una manera senzilla sense assumir els riscos que comporten les situacions reals. Per aconseguir-ho, s'ha redactat un enunciat que permeti desenvolupar l'estudi de manera senzilla.

S'ha decidit dissenyar el programa mitjançant programació en VBA en Excel, com s'havia marcat en els objectius. S'ha decantat per aquesta programació per la similitud en el llenguatge amb la programació apresada durant el Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials a l'assignatura d'Informàtica.

A més a més, s'han realitzat 6 jocs de proves del model de Harris-Wilson dividits en dos casos per tal de provar el correcte funcionament de l'eina i per comprovar que es compleixen els supòsits del model estudiat.

Per últim, s'ha realitzat un estudi econòmic, mediambiental i ergonòmic de l'eina per veure com interactua envers la resta medis. A partir de l'anàlisi mediambiental s'ha vist que l'ús d'aquesta eina permetrà la no utilització de 3.000 fulles, o el que és el mateix, 15 kg de paper que farien falta per realitzar aquesta pràctica a mà. En l'estudi ergonòmic s'ha vist que l'eina desenvolupada compleix amb els 7 principis ergonòmics estudiats. Per últim, l'anàlisi econòmic realitzat suposant un cost de 5€ per llicència ha indicat que l'eina seria rendible en un horitzó de 5 anys, període en què s'usaria l'eina, i es recuperaria la inversió a partir del tercer any.

Per tant, tots els objectius marcats inicialment han estat complerts satisfactòriament.

Agraïments

Agraeixo l'ajuda desinteressada mostrada pel meu tiet Silvestre Ríos a l'hora de recomanar-me el llibre "Manual para programación VBA para Excel", ja que m'ha ajudat molt en la programació amb Visual Basic per al desenvolupament de l'eina.

D'altra banda, agrair al Sr. Iñaki Gras l'interès mostrat durant tot el projecte i l'ajuda en els dubtes que m'han anat sorgint.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] M. Miguez i A.I Bastos (2006). Introducción a la gestión de stocks. El proceso de control, valoración y gestión de stocks (2a edición). Vigo: Ideaspropias Editorial
- [2] Departament de Organització de Empreses de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (2013). Organització i gestió, apunts de l'assignatura. Gestió d'estocs. Barcelona.
- [3] M. Amelot (2016). VBA Excel 2016: Programación en Excel: Macros y lenguaje VBA. Cornellà de Llobregat (Barcelona): Ediciones ENI
- [4] Actualidad empresa. (2015, 30 de agosto). Gestión de inventarios y su importancia estratégica. *Actualidad Empresa*. Recuperat de: <http://www.actualidadempresa.com/gestion-de-inventarios-y-su-importancia-estrategica/>
- [5] J.P Garcia-Sabater. (2020). Gestión de Stocks de Demanda Independiente. Nota Técnica. RIUNET Repositorio UPV. Recuperat de <http://hdl.handle.net/10251/138753>
- [6] S. Andrés (2013). Maual de programación VBA para Excel. Ayuda Excel-Consultoria y Desarrollo en Excel
- [7] Introducción a las Macros (s.f). Recuperat de <http://www.excel-avanzado.com/introducción-a-las-macros>
- [8] Comstar. (13/12/2011). Trucos y tretes en Excel VBA para programadores. Recuperat de <http://www.rankia.com/blog/comstar/1021298-trucos-tretas-excel-vba-para-programadores>
- [9] M. Ortiz. (s.f). Funciones de Excel. Recuperat de <http://www.exceltotal.com/funciones/>
- [10] M.Ortiz (s.f) Funcionalidades de VBA. Recuperat de <http://www.exceltotal.com/?s=vba>
- [11] Microsoft (s.f) Documentación de Visual Basic. Recuperat de <https://docs.microsoft.com/es-es/dotnet/viual-basic/>
- [12] Simuladores Empresariales (s.f) Business Games. Recuperat de <https://www.simuladoresempresariales.com/business-games/>
- [13] ¿Qué es la ergonomia del software? (25/12/2017) HRTRENDS by infoempleo. Recuperat de <https://www.empresas.infoempleo.com/hrtrends/la-ergonomia-del-software>